



João Filipe Ribeiro Dias

Mestre em Engenharia Mecânica

Integração de Energias Renováveis num modelo de Edifício de Balanço Energético Quase Zero (NZEB)

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica

Orientador: João José Lopes de Carvalho, Professor
Doutor, Faculdade de Ciências e Tecnologia da
Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Daniel Cardoso Vaz
Arguente: Prof. Doutor Vasco Moreira Rato
Vogal: Prof. Doutor João José Lopes de Carvalho



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro 2015



João Filipe Ribeiro Dias

Mestre em Engenharia Mecânica

Integração de Energias Renováveis num modelo de Edifício de Balanço Energético Quase Zero (NZEB)

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica

Orientador: João José Lopes de Carvalho, Professor
Doutor, Faculdade de Ciências e Tecnologia da
Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Daniel Cardoso Vaz
Arguente: Prof. Doutor Vasco Moreira Rato
Vogal: Prof. Doutor João José Lopes de Carvalho



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro 2015

Integração de Energias Renováveis num modelo de Edifício de Balanço Energético Quase Zero (NZEB)

Copyright © 2015 João Filipe Ribeiro Dias,

Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Este é sem dúvida, até ao momento, o ponto mais alto da minha formação académica, que resulta de muitos anos de esforço e dedicação. Queria assim fazer alguns agradecimentos a todos aqueles que participaram comigo nesta longa jornada, aos que estiveram sempre ao meu lado e me ajudaram a tornar uma pessoa melhor, em especial:

Ao meu orientador, Professor João Lopes de Carvalho pela sua ajuda, disponibilidade, partilha de conhecimento e motivação no tema proposto.

Aos meus Pais, Avós, Irmão, Tios, Primos por todo o apoio e esforço que fizeram para que fosse possível chegar a este patamar.

Aos meus amigos e colegas de curso, pela ajuda diária e motivação dada ao longo destes anos, com particular destaque para Pedro Fonseca, Henrique Martins, Diogo Fialho, Rómulo Santos e João Pereira.

À Renata Catarino pelo seu apoio e paciência nos últimos anos.

A todos vós agradeço e desejo que o vosso êxito seja maior que o meu.

Resumo

Neste estudo aborda-se o novo conceito dos edifícios com necessidades quase nulas de energia (*Nearly Zero Energy Buildings*, NZEB) no parque edificado Europeu, nomeadamente os edifícios de habitação que serão construídos a partir de 2020. Estes edifícios terão que respeitar os requisitos mínimos de eficiência energética de modo a reduzir a dependência dos combustíveis fósseis que tem vindo a aumentar significativamente ao longo dos últimos anos.

Ao longo deste trabalho foi modelado e dimensionado um edifício de habitação unifamiliar situado na zona de Lisboa e recorreu-se a técnicas e estratégias que aumentam a eficiência energética do mesmo. Este dimensionamento foi feito recorrendo ao *software DesignBuilder*, tendo sido em seguida efetuada uma análise energética, com recurso ao *software EnergyPlus*.

Posteriormente à análise estar feita, realizou-se um estudo utilizando o *software SolTerm* para se integrar sistemas de produção de energia renovável no edifício, de modo a tentar suprir as necessidades energéticas do edifício no que se refere a aquecimento ambiente, águas quentes sanitárias (AQS) e necessidades elétricas. Para suprir as necessidades de arrefecimento e aquecimento que o sistema solar térmico não tem capacidade de suprir foi introduzida uma bomba de calor, reduzindo assim o consumo elétrico tornando o edifício mais sustentável. Já para produção de energia elétrica foi inserido um sistema solar fotovoltaico. Foi avaliada também nesta fase a relação custo-benefício da aplicação de cada um destes sistemas, de modo a escolher aquele que maximiza o suprimento das necessidades e que ao mesmo tempo é economicamente viável.

Por último foi realizada uma análise crítica aos resultados obtidos e é feito o enquadramento com o que é pretendido num edifício NZEB.

Palavras-chave: NZEB, eficiência energética, combustíveis fósseis, *DesignBuilder*, *EnergyPlus*, *SolTerm*.

Abstract

This study deals with the introduction of buildings with nearly zero energy needs (Nearly Zero Energy Buildings, NZEB) in the European building stock, particularly residential buildings built up after 2020. These buildings will have to respect the minimum energy efficiency requirements to reduce the dependence on fossil fuels that has increased significantly in the past few years.

Throughout this work was scaled a single family house building located in Lisbon, using techniques and strategies that increase his energy efficiency. This design was made using the *DesignBuilder* software, and later made an energy analysis, using *EnergyPlus* software.

After the analysis is done was made a study with a software called SolTerm to integrate renewable energy systems in the building trying to supply the energy requirements needed for space heating, domestic hot water (DHW) and electrical needs. To supply the cooling and heating needs that the solar thermal system is unable to provide a heat pump has been introduced, thereby reducing the power consumption and making the building more sustainable. To provide electricity it was inserted a photovoltaic solar system. It was also evaluated at this stage the cost-effective of each one of these systems, in order to choose the one that maximizes the supply of necessities and at the same time is economically viable.

Finally, it was done a critical analysis of the results obtained and was made the frame with what is intended in a NZEB building.

Keywords: NZEB, energy efficiency, fossil fuels, *DesignBuilder*, *EnergyPlus*, SolTerm.

Índice de matérias

1 Introdução.....	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Estrutura	3
2. Estudo bibliográfico	6
2.1 Legislação.....	6
2.1.1 Decreto-Lei n.º118/2013	7
2.2 Clima, estratégias de construção e sistemas de produção de energia renovável em edifícios.....	7
2.2.1 Clima	8
2.2.1.1 Zona Climática.....	9
2.2.1.2 Precipitação.....	11
2.2.1.3 Insolação e radiação solar	11
2.2.2 Construção do edifício	12
2.2.2.1 Forma e orientação	12
2.2.2.2 Envolvente	14
2.2.2.2.1 Inércia térmica	15
2.2.2.2.2 Isolamento térmico.....	15
2.2.2.2.3 Paredes exteriores.....	16
2.2.2.2.4 Cobertura	17
2.2.2.2.5 Pavimento em contacto com o exterior	18
2.2.2.2.6 Vãos envidraçados	18
2.2.2.3 Sombreamento	19
2.2.2.4 Ventilação natural.....	20
2.2.2.5 Permeabilidade ao ar	22
2.2.2.6 Equipamentos eficientes	23
2.2.2.7 Iluminação	23
2.2.3 Sistemas de produção de energia renovável	24
2.2.3.1 Energia Solar.....	24

2.2.3.2 Sistema de produção de energia solar térmica.....	25
2.2.3.2.1 Coletor solar térmico.....	25
2.2.3.2.1.1 Coletores planos	26
2.2.3.2.1.2 Coletores parabólicos compostos.....	27
2.2.3.2.1.3 Coletores de tubo de vácuo	27
2.2.3.2.2 Funcionamento e elementos que constituem o circuito	29
2.2.3.2.3 Águas Quentes Sanitárias	31
2.2.3.2.4 Aquecimento ambiente	32
2.2.3.3 Sistema de produção de energia solar fotovoltaica	33
2.2.3.3.1 Regime de Produção Distribuída.....	34
2.2.3.3.2 Sombreamento e distância entre fileiras de coletores e painéis	37
2.2.3.4 Bomba de calor	38
3 Criação de um modelo simples de moradia unifamiliar	42
3.1 Software utilizado	42
3.2 Dados utilizados e dimensionamento do edifício	44
3.2.1 Considerações feitas.....	44
3.2.2 Localização	45
3.2.3 Forma e orientação	46
3.2.4 Envolvente	46
3.2.4.1 Paredes exteriores	48
3.2.4.2 Cobertura.....	49
3.2.4.3 Pavimento.....	50
3.2.4.4 Vãos envidraçados	51
3.2.5 Sombreamento.....	53
3.2.6 Dados referentes às diferentes zonas do edifício.....	55
3.2.7 Ventilação natural	56
3.2.8 Fontes internas de calor	56
3.2.9 Permeabilidade ao ar	58
3.3 Simulação energética	58
3.3.1 Análise de resultados.....	60
4 Integração de sistemas de produção de energia renovável	66

4.1 Software usado.....	66
4.2 Sistema solar térmico	69
4.3 Bomba de calor.....	80
4.3.1 Análise económica	82
4.4 Sistema solar fotovoltaico	83
5 Conclusões.....	98
5.1 Trabalho futuro	101
6 Bibliografia.....	102

Índice de figuras

<i>Figura 1.1 - Como reduzir as necessidades energéticas de um edifício. Fonte: [3].</i>	2
<i>Figura 2.1 - Médias anuais de Temperatura (amarelo) e precipitação (azul) para clima mediterrânico. Fonte: [12] adaptado.</i>	8
<i>Figura 2.2 - Mapa climático de Portugal. Fonte: [15]</i>	9
<i>Figura 2.3 - Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento. Fonte [15].</i>	10
<i>Figura 2.4 - Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação convencional de arrefecimento. Fonte: [15].</i>	10
<i>Figura 2.5 - Gráfico da temperatura do ar. Fonte: [16].</i>	11
<i>Figura 2.6 - Gráfico da Precipitação média e valores de precipitação máxima ocorridos em Lisboa. Fonte: [16].</i>	11
<i>Figura 2.7 - Exemplo das diferentes componentes da radiação. Fonte: [18] adaptado.</i>	12
<i>Figura 2.8 - Valores do fator de forma para diferentes tipos de edifício. Fonte: [19].</i>	13
<i>Figura 2.9 - Incidência de radiação num edifício com a fachada principal virada a sul no Inverno. Fonte: [20].</i>	13
<i>Figura 2.10 - Incidência de radiação num edifício com a fachada principal virada a sul no Verão. Fonte: [20].</i>	14
<i>Figura 2.11 - Distribuição de perdas numa moradia. Fonte: [21] adaptado.</i>	14
<i>Figura 2.12 – Exemplo de parede com isolamento pelo interior. Fonte: [21] adaptado.</i>	16
<i>Figura 2.13 – Exemplo de parede com isolamento pelo exterior. Fonte: [21] adaptado.</i>	17
<i>Figura 2.14 - Ângulo de incidência da radiação.</i>	20
<i>Figura 2.15 - Caudais-tipo a extrair nos compartimentos de serviço. Fonte: [24].</i>	21
<i>Figura 2.16 - Caudais-tipo a admitir nos compartimentos principais. Fonte: [24].</i>	21
<i>Figura 2.17 - Exemplo de ocorrência de infiltrações num edifício. Fonte: [25] adaptado.</i>	22
<i>Figura 2.18 - Limites da permeabilidade ao ar da envolvente de edifícios n_{50} em função da altura da acima do solo. Fonte: [24].</i>	22
<i>Figura 2.19 - Etiqueta energética da UE. Fonte: [26].</i>	23
<i>Figura 2.20 - Potência de diversos tipos de lâmpadas vs Lumens. Fonte: [28] adaptado.</i>	24
<i>Figura 2.21 - Radiação incidente território Europeu. Fonte: [29].</i>	24
<i>Figura 2.22 - Sistema solar térmico. Fonte: [32].</i>	25
<i>Figura 2.23 - Eficiência de um sistema solar térmico em função da diferença de temperatura. Fonte: [32].</i>	26
<i>Figura 2.24 - Coletor solar plano. Fonte: [33].</i>	26
<i>Figura 2.25 - Coletores parabólicos compostos. Fonte: [34].</i>	27
<i>Figura 2.26 - Composição coletor de tubo de vácuo à esquerda e exemplo de aplicação numa habitação à direita. Fonte: [35] adaptado.</i>	28
<i>Figura 2.27 - Exemplo de bomba circuladora utilizada em sistemas solares térmicos. Fonte: [36].</i>	29

<i>Figura 2.28 - Exemplo de implementação de um sistema de termossifão (esquerda) e esquema de funcionamento (direita). Fonte: [37].</i>	29
<i>Figura 2.29 - Exemplo de implementação de um vaso de expansão (equipamento vermelho) num sistema solar térmico. Fonte: [38].</i>	30
<i>Figura 2.30 - Depósito de acumulação estratificado. Fonte: [41].</i>	31
<i>Figura 2.31 - Distribuição de temperaturas em diferentes sistemas de aquecimento. Fonte: [42].</i>	32
<i>Figura 2.32 - Diferentes tipos de circuito para piso radiante. Fonte: [25].</i>	33
<i>Figura 2.33 - Sistema fotovoltaico. Fonte: [44].</i>	33
<i>Figura 2.34 - Sistema fotovoltaico ligado à rede. Fonte: [44].</i>	34
<i>Figura 2.35 - Evolução das tarifas de eletricidade. Fonte: [45].</i>	34
<i>Figura 2.36 - Exemplo de uma UPAC que injeta energia na rede. Fonte: [47].</i>	35
<i>Figura 2.37 - Exemplo de uma UPP. Fonte: [49].</i>	36
<i>Figura 2.38 - Parâmetros a ter em conta no dimensionamento de uma fileira de coletores solares térmicos ou painéis solares fotovoltaicos.</i>	37
<i>Figura 2.39 - Inclinações ideais para diferentes localizações e estações do ano. Fonte: [51].</i>	37
<i>Figura 2.40 - Distância mínima entre fileiras para diferentes localizações e estações do ano. Fonte: [51].</i>	37
<i>Figura 2.41 - Aproveitamento Bomba de Calor. Fonte: [52].</i>	38
<i>Figura 2.42 -Relação entre o COP e temperatura de entrada do fluido frio para diferentes temperaturas de fluido quente numa bomba de calor água-água. Fonte: [53].</i>	39
<i>Figura 2.43 - Fontes utilizadas para permuta de calor. Fonte: [53].</i>	39
<i>Figura 3.1 - Programas acreditados pela norma ASHRAE 140-2004. Fonte: [54].</i>	43
<i>Figura 3.2 - Modelo de habitação.</i>	44
<i>Figura 3.3 - Planta piso 0.</i>	44
<i>Figura 3.4 - Planta piso 1</i>	45
<i>Figura 3.5 - Localização do edifício.</i>	45
<i>Figura 3.6 -Dados climatéricos a utilizar para simulação do balanço energético, INETI.</i>	46
<i>Figura 3.7 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados, U_{ref} [W/m². °C]. Fonte: [8].</i>	47
<i>Figura 3.8 - Dimensionamento do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior.</i>	48
<i>Figura 3.9 - Constituição das paredes exteriores.</i>	49
<i>Figura 3.10 - Constituição da cobertura.</i>	49
<i>Figura 3.11 - Constituição da estrutura em contacto com o solo exterior.</i>	50
<i>Figura 3.12 - Estrutura entre piso 0 e piso 1.</i>	51
<i>Figura 3.13 - Constituição das janelas utilizadas.</i>	51
<i>Figura 3.14 - Características janelas.</i>	52
<i>Figura 3.15 - Localização das janelas.</i>	52
<i>Figura 3.16 - Constituição da porta utilizada.</i>	53
<i>Figura 3.17 - Palas colocadas na fachada Sul.</i>	53

<i>Figura 3.18 - Exemplo de dimensionamento de coberturas para fachada Sul. Fonte: [58] adaptado.</i>	53
<i>Figura 3.19 - Dimensionamento dos dispositivos de sombreamento para a fachada Sul.</i>	54
<i>Figura 3.20 - Dispositivos de sombreamento vertical colocados na fachada Oeste (esquerda) e Este (direita).</i>	54
<i>Figura 3.21 - Constituição paredes interiores.</i>	55
<i>Figura 3.22 - Ganhos internos utilizados na simulação.</i>	57
<i>Figura 3.23 - Categoria de ganhos internos utilizados nas simulações.</i>	57
<i>Figura 3.24 - Valor de permeabilidade ao ar utilizado nas simulações.</i>	58
<i>Figura 3.25 - Temperaturas de conforto para Inverno e Verão.</i>	58
<i>Figura 3.26 - Sistema AVAC escolhido.</i>	59
<i>Figura 3.27 - Opção AVAC escolhida para simulação.</i>	59
<i>Figura 3.28 - Simulação energética anual.</i>	59
<i>Figura 3.29 - Ganhos, perdas e necessidades energéticas do edifício vistos sob forma gráfica.</i>	61
<i>Figura 3.30 - Balanço energético mensal da envolvente.</i>	61
<i>Figura 3.31 - Edifício com duas janelas na fachada Este.</i>	64
<i>Figura 3.32 - Janela na fachada Este e na Fachada Norte.</i>	64
<i>Figura 4.1 - Seleção de condições climáticas no SolTerm.</i>	67
<i>Figura 4.2 - Detalhes do local.</i>	67
<i>Figura 4.3 - Seleção de dados para um sistema solar térmico (esquerda) e para um sistema solar fotovoltaico (direita).</i>	68
<i>Figura 4.4 - Exemplo de análise energética de um sistema solar térmico (esquerda) e de um sistema solar fotovoltaico (direita).</i>	68
<i>Figura 4.5 - Temperatura média de água da rede nos diferentes meses do ano para Lisboa (azul).</i>	70
<i>Figura 4.6 - Necessidades de AQS calculadas no programa SolTerm, para o edifício modelado.</i>	70
<i>Figura 4.7 - Perfil de consumo AQS no mês de Janeiro.</i>	71
<i>Figura 4.8 - Perfil de consumo aquecimento ambiente no mês de Janeiro.</i>	71
<i>Figura 4.9 - Sistema térmico utilizado.</i>	72
<i>Figura 4.10 - Coletores SKR500. Fonte [63].</i>	73
<i>Figura 4.11 - Características dos depósitos PSR-E de 800 e 1000 litros. Fonte: [64].</i>	74
<i>Figura 4.12 - Coletores 4SUN VAC30. Fonte [35].</i>	74
<i>Figura 4.13 - Características dos depósitos utilizados nos casos 3 e 4.. Fonte [35].</i>	74
<i>Figura 4.14 - Resultados da análise energética obtida no Solterm para o caso 1 e 2, respetivamente.</i>	75
<i>Figura 4.15 - Resultados da análise energética obtida no Solterm para o caso 3 e 4, respetivamente.</i>	76

<i>Figura 4.16 - Dados relativos à operação, manutenção do sistema e do preço da energia substituída.</i>	77
<i>Figura 4.17 - Análise económica sistema solar térmico com coletores planos.</i>	78
<i>Figura 4.18 - Análise económica sistema solar térmico com coletores de tubo de vácuo.</i>	79
<i>Figura 4.19 - Bombas de calor Carrier (em cima) e Daikin (em baixo).</i>	81
<i>Figura 4.20 - Interface SolTerm fotovoltaico.</i>	83
<i>Figura 4.21 - Perfis de consumo relativos ao consumo elétrico no edifício.</i>	84
<i>Figura 4.22 - Sistema solar fotovoltaico a implementar.</i>	85
<i>Figura 4.23 - Especificações módulos fotovoltaicos.</i>	85
<i>Figura 4.24 - Editor de módulos fotovoltaicos.</i>	86
<i>Figura 4.25 - Escolha do tipo de armazenamento que se pretende fazer.</i>	86
<i>Figura 4.26 - Editor de acumuladores.</i>	87
<i>Figura 4.27 - Escolha do inversor e respetivo dimensionamento.</i>	87
<i>Figura 4.28 - Características dos módulos fotovoltaicos usados. Fonte: [65].</i>	88
<i>Figura 4.29 - Características inversores usados. Fonte: [66].</i>	89
<i>Figura 4.30 - Esquema de funcionamento do inversor. Fonte: [66].</i>	89
<i>Figura 4.31 - Características da bateria utilizada nas simulações. Fonte [67].</i>	90
<i>Figura 4.32 - Duas baterias ligadas em série.</i>	90
<i>Figura 4.33 - Quatro baterias ligadas em série e em paralelo.</i>	90
<i>Figura 4.34 - Análise de desempenho do sistema fotovoltaico para o caso 1.</i>	91
<i>Figura 4.35 - Análise de desempenho do sistema fotovoltaico para o caso 2.</i>	91
<i>Figura 4.36 - Análise de desempenho do sistema fotovoltaico para o caso 3.</i>	92
<i>Figura 4.37 - Análise de desempenho do sistema fotovoltaico para o caso 4.</i>	92
<i>Figura 4.38 - Análise de desempenho do sistema fotovoltaico para o caso 5.</i>	92
<i>Figura 4.39 - Análise de um caso particular equivalente ao caso 5 mais duas baterias.</i>	93
<i>Figura 4.40 - Valor do OMIE no dia 19 de Agosto de 2015 em €/MWh. Fonte: [68].</i>	94

Índice de tabelas

<i>Tabela 2.1 - Critérios para a determinação da zona climática de Inverno. Fonte: [15].</i>	9
<i>Tabela 2.2 - Critérios para a determinação da zona climática de verão. Fonte: [15].</i>	10
<i>Tabela 2.3 - Temperatura do ar, normais climatológicas. Fonte: [16].</i>	10
<i>Tabela 2.4 - Dados de insolação para a cidade de Lisboa no ano 2012. Fonte: [17].</i>	11
<i>Tabela 2.5 - Classes de inércia térmica interior, It. Fonte: [8].</i>	15
<i>Tabela 2.6 - Alguns tipos de materiais isolantes. Fonte: [22].</i>	16
<i>Tabela 2.7 - Valores de k para Ar e Árgon. Fonte: [23].</i>	19
<i>Tabela 2.8 - Tipos de sombreamento amovíveis e fixos. Fonte [14].</i>	19
<i>Tabela 3.1 - Área das janelas usadas.</i>	52
<i>Tabela 3.2 - Área das janelas usadas.</i>	55
<i>Tabela 3.3 - Dados relativos a área e volumes totais do edifício.</i>	56
<i>Tabela 3.4 - Requisitos mínimos de ar novo para o piso 0.</i>	56
<i>Tabela 3.5 - Requisitos mínimos de ar novo piso 1.</i>	56
<i>Tabela 3.6 - Ganhos e perdas energéticas do edifício.</i>	60
<i>Tabela 3.7 - Comparação de dados obtidos com as recomendações do PHI.</i>	61
<i>Tabela 3.8 - Necessidades de aquecimento para diferentes zonas do edifício e meses do ano.</i>	62
<i>Tabela 3.9 - Necessidades de arrefecimento para diferentes zonas do edifício e meses do ano.</i>	63
<i>Tabela 3.10 - Necessidades elétricas do edifício modelado.</i>	64
<i>Tabela 4.1 - Necessidades totais de aquecimento do edifício.</i>	70
<i>Tabela 4.2 - Aquecimento ambiente. Média diária em kWh.</i>	71
<i>Tabela 4.3 - Nº médio de litros aquecidos por dia em cada mês para aquecimento ambiente.</i>	72
<i>Tabela 4.4 - Características dos kits solares térmicos compostos por coletores solares planos. Fonte: [63][64].</i>	73
<i>Tabela 4.5 - Características dos kits solares térmicos compostos por coletores solares de tubo de vácuo. Fonte: [35].</i>	74
<i>Tabela 4.6 - Síntese de resultados obtidos.</i>	80
<i>Tabela 4.7 - Síntese de necessidades de aquecimento e arrefecimento que faltam colmatar em kWh.</i>	80
<i>Tabela 4.8 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento médias diárias ao longo do ano em kWh.</i>	81
<i>Tabela 4.9 - Características das bombas de calor escolhidas.</i>	82
<i>Tabela 4.10 - Resultados obtidos na comparação de duas bombas diferentes em kWh.</i>	82
<i>Tabela 4.11 - Gastos elétricos totais do edifício.</i>	83
<i>Tabela 4.12 - Kits utilizados no estudo da implementação do sistema solar fotovoltaico.</i>	88
<i>Tabela 4.13 - Resumo dos resultados obtidos.</i>	94
<i>Tabela 4.14 - Quantidade máxima de energia que pode ser vendida à rede.</i>	94

<i>Tabela 4.15 - Valores resultantes da venda de energia à rede pública.</i>	95
<i>Tabela 4.16 - Análise económica caso 1.</i>	95
<i>Tabela 5.1 - Quadro resumo de resultados obtidos ao longo do estudo realizado.</i>	98
<i>Tabela 5.2 - Gastos energéticos vs Produção energética.</i>	99

Abreviaturas e Siglas

ABR – Abril

AGM – *Absorbed Glass Mat*

AGO – Agosto

AQS – Águas Quentes Sanitárias

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

CFD – *Computational Fluid Dynamics*

COP – *Coefficient Of Performance*

CPC – Coletores Parabólicos Compostos

CUR – Comercializador de Último Recurso

DEZ – Dezembro

DHW – *Domestic Hot Water*

EPS – Poliestireno Expandido

ERR – *Energy Efficiency Ratio*

EU – União Europeia

FEV – Fevereiro

INETI – Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

JAN – Janeiro

JUL – Julho

JUN – Junho

LED – *Light Emitting Diode*

MAI – Maio

MAR – Março

MPPT – *Maximum Power Point Tracking*

NHBC – *National House Building Council*

NOV – Novembro

NP – Norma Portuguesa

NZEB – *Nearly Zero Energy Building*

OMM – Organização Meteorológica Mundial

OUT – Outubro

PHI – *Passive House Institute*

PUR – Poliuretano

PVC – *Polyvinyl Chloride*

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RCESE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

RECS – Regulamento de Edifícios de Comércio e Serviços

REH – Regulamento de Edifícios de Habitação

RESP – Rede Energética de Serviço Público

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar interior nos Edifícios

SET – Setembro

SKR – Sonnenkraft

UPAC – Unidade de Produção para Autoconsumo

UPP – Unidade de Pequena Produção

XPS – Poliestireno Extrudido

3D – Três dimensões

Simbologia

$A_i [m^2]$ – Área interior

$A_p [m^2]$ – Área útil de pavimento

$E_{fornecida,m} [MWh]$ – Energia fornecida no mês m

f_{eh} – Fator de eficiência hídrica

GD [$^{\circ}C$] – Graus Dia

$G_i [W.m^{-2}]$ – Ganhos internos

$G_x [kWh]$ – Gastos elétricos no mês x

H [m] – Distância entre base da janela e local onde se pretende colocar cobertura

$I_i [kg.m^{-2}]$ – Massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento

$k [W.m^{-1}.^{\circ}C^{-1}]$ – Condutibilidade térmica

$MAQS [litros/dia]$ – Consumo médio diário de água quente de referência

$M_{si} [kg.m^{-2}]$ – Massa superficial útil do elemento i

n – Número de ocupantes de cada fração autónoma

n_d – Número anual de dias de consumo AQS de edifícios residenciais

n_{dx} – Número de dias do mês x

n_h – Número de horas de um dia

$OMIE,m [€/MWh]$ – Média aritmética simples do preço de fecho do Operador do Mercado Ibérico de Energia para Portugal

$Q_c [W]$ – Potência calorífica

$Q_f [W]$ – Potência frigorífica

r – Fator de redução da massa superficial útil

$R_{upac,m} [€]$ – Remuneração do mês m em euros

S [m^2] – Superfície

$S_i [m^2]$ – Área de superfície interior do elemento i

$U [W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}]$ – Coeficiente de transmissão térmica

V [m^3] – Volume

W [m] – Comprimento da cobertura

$W_c [W]$ – Potência elétrica consumida

$\theta_{ext,v} [^{\circ}C]$ – Temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento

$\Delta T [^{\circ}C]$ – Diferença de temperatura

1 Introdução

O conceito de edifício com necessidades quase nulas de energia surge devido ao crescente uso de combustíveis fósseis que têm vindo a degradar o ambiente ao longo de várias décadas e com o intuito de reduzir a dependência energética da UE. O parque edificado europeu irá ter de ser constituído progressivamente por este tipo de edifícios já a partir de 2018 (edifícios públicos) e 2020 (edifícios de habitação), tentando deste modo aliviar o consumo energético descontrolado que se tem vindo a verificar.

Este capítulo tem como intuito fazer um enquadramento no tema dissertativo, explicar sucintamente o conceito de NZEB e resumir os objetivos e a estrutura do trabalho realizado.

1.1 Enquadramento

A energia é o principal motor de desenvolvimento da sociedade e tecnologia. Sem ela seria impossível viver como vivemos ou evoluir como temos evoluído. Porém, quando esta não é usada de modo racional traz consigo vários inconvenientes. Nas últimas décadas, devido ao descontrolo que tem havido no seu uso, as consequências estão à vista: níveis de poluição nunca antes vistos que prejudicam não só as gerações atuais como as futuras.

Na tentativa de reduzir a emissão de gases que agravam o efeito estufa, têm sido criadas diversas medidas, tais como: utilização de energias renováveis em detrimento das fósseis, protocolos entre países (Quioto), proibição de uso de determinados produtos, limitações de emissões de dióxido de carbono em diversos países, entre outras.

No sentido de continuar a lutar para que se contrarie o panorama negativo existente, estão a ser implementadas medidas a nível Europeu. Para o estudo que se irá realizar, salientam-se as diretivas relativas ao desempenho energético dos edifícios. Estas medidas têm vindo a ser implementadas desde 2002 (n.º2002/91/UE), já foram reformuladas em 2010 (n.º2010/31/UE) e têm como horizonte temporal 2018 (Edifícios públicos) e 2020 (Edifícios de habitação).

Na Europa, 40% dos combustíveis fósseis são convertidos em energia para suprir as necessidades energéticas do parque edificado [1], o que faz com que estes tenham um grande contributo na poluição existente. É importante que se tomem medidas de modo a inverter este paradigma. Nesse sentido surgiram os edifícios com necessidades quase nulas de energia. Assim a partir de 2020, todos os edifícios de habitação novos ou sujeitos a grandes intervenções devem obrigatoriamente, ter este tipo de comportamento, de modo a serem licenciados para habitação.

Um NZEB é um edifício que tem um alto desempenho energético e em que a satisfação das suas necessidades de energia resulta em grande medida de fontes renováveis, designadamente a produzida no local ou nas proximidades [2].

Existem duas condições essenciais para conseguir que um edifício se torne um NZEB [3]:

1. As necessidades energéticas do edifício devem ser reduzidas, respeitando os limites legislativos.
2. Produção muito eficiente de energia.

Reduzir as necessidades energéticas de um edifício implica fazer um dimensionamento correto do mesmo. Para isso é necessário ter em conta diversos aspetos, entre os quais destacam-se:

- Tecnologias
- Estratégias
- Sistemas eficientes
- Integração urbana

Estas características ajudam a otimizar os ganhos e perdas tanto no Inverno como no Verão. A figura seguinte mostra essas características em resumo e ainda algumas das especificações a considerar.

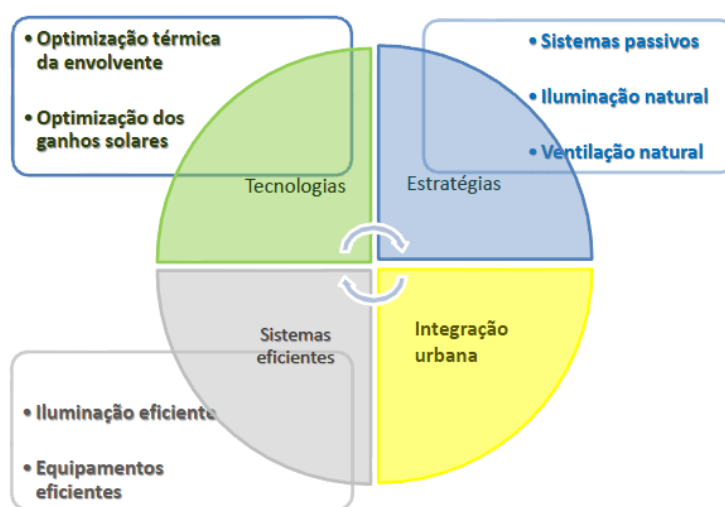


Figura 1.1 - Como reduzir as necessidades energéticas de um edifício. Fonte: [3].

As tecnologias usadas ajudam a garantir o conforto de um espaço, para esse efeito podem ser utilizados programas que ajudam a realizar a optimização térmica da envolvente e dos ganhos solares.

As estratégias a usar passam pela utilização de sistemas que beneficiem a iluminação e ventilação natural num espaço, de modo a também serem reduzidas as necessidades energéticas desse mesmo espaço. Sabe-se que estas duas características são das que têm mais peso relativamente a gastos energéticos.

Outra característica muito importante é a introdução de sistemas eficientes num edifício tais como iluminação eficiente e outros equipamentos diversos (bombas de calor, torneiras eficientes, sistemas solares, entre outros).

Por último, todos estes aspetos estão dependentes da localização do edifício, sendo que a zona onde este se localiza e as características do local podem restringir a utilização de alguns sistemas, tecnologias e estratégias a usar.

Tudo isto ajuda a aumentar o rendimento anual do edifício ajudando a diminuir as necessidades energéticas tanto na estação de aquecimento como na estação de arrefecimento, sem pôr em causa o conforto que o edifício proporciona.

Já na parte de produção de energia devem ser utilizadas tecnologias renováveis com alta eficiência energética, entre as quais:

- Sistemas solares térmicos;
- Sistemas solares fotovoltaicos;
- Bombas de calor;

Estas tecnologias e métodos de redução de necessidades energéticas do edifício serão explicados no capítulo 2.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste estudo é integrar uma moradia num Modelo de Edifício de Balanço Energético Quase Zero, de acordo com as diretivas impostas pela UE, analisar criticamente os resultados e tirar as conclusões adequadas.

Numa primeira fase, o que se pretende é realizar o dimensionamento de um edifício tendo em conta todos os dados com interesse para o balanço energético do mesmo. Nesta fase será realizada a simulação energética do edifício de modo a saber quais são as necessidades energéticas deste no que dita a aquecimento, arrefecimento e gastos elétricos, de modo a enquadrar o balanço energético do edifício com o que é pretendido no NZEB. Para este fim, será utilizado os *softwares DesignBuilder e EnergyPlus*.

Na segunda fase é pretendido fazer um estudo de integração de sistemas de produção de energia renovável com vista à plena satisfação das necessidades energéticas do edifício com alta eficiência energética e verificar se eventualmente é possível disponibilizar o excesso de energia produzido. Os sistemas de produção de energia a usar serão: sistema solar térmico e fotovoltaico, ambos dimensionados com apoio do *software SolTerm*. Será também introduzida uma bomba de calor no sistema devido a ser considerada uma tecnologia renovável e permitir reduzir gastos energéticos.

Por último, é feita a análise de resultados. Está previsto que sejam encontradas soluções viáveis do ponto de vista económico e técnico, isto é, um estudo que seja, efetivamente, possível de ser implementado na vida real.

1.3 Estrutura

Este trabalho é constituído por 5 capítulos, caracterizados do seguinte modo:

- Capítulo 1 – Tem como fim dar a conhecer o estudo que se irá proceder, os pressupostos do trabalho e os objetivos do mesmo.
- Capítulo 2 – Tem como objetivo dar conhecer os parâmetros fundamentais a ter em conta no dimensionamento do edifício e os sistemas de produção de energia renovável que serão introduzidos posteriormente.
- Capítulo 3 – Neste capítulo é apresentado o dimensionamento feito do edifício e respetiva simulação energética.

- Capítulo 4 – Procede-se à integração de sistemas de produção de energia renovável no edifício, realização de simulações com vista à otimização dos sistemas solares térmicos e fotovoltaicos e respetivas análises económicas.
- Capítulo 5 – Conclusões, análise de resultados e considerações finais retiradas deste estudo.

2. Estudo bibliográfico

2.1 Legislação

O primeiro decreto existente em Portugal que impôs requisitos ao projeto de novos edifícios foi o RCCTE, aprovado em Fevereiro de 1990 pelo decreto-lei nº40/90. O objetivo deste era satisfazer as condições de conforto térmico dos edifícios sem necessidades excessivas de energia, tanto no verão como no inverno [4].

Em 1998 foi aprovado em Maio pelo decreto-lei nº118/98, o RSECE, que teve como objetivo evitar o sobredimensionamento dos edifícios ao nível da potência dos sistemas instalados de modo a melhorar a sua eficiência [5].

Em 4 Abril de 2006 foi aprovado o decreto-lei nº78/2006 que aprova o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar interior nos Edifícios. Este documento teve como principais fins [6]:

- Assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, da utilização de sistemas de energias renováveis e às condições de garantia da qualidade de ar interior exigidas pelo RCCTE e RCESE;
- Certificar o desempenho energético e qualidade do ar interior nos edifícios;
- Identificar as medidas corretivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respetivos sistemas energéticos, como caldeiras e equipamentos de ar condicionado, quer a nível de desempenho energético quer a nível de qualidade do ar interior.

Nessa mesma data foram aprovadas alterações ao RSECE e ao RCCTE pelos decretos-lei nº79/2006 e nº80/2006, respetivamente. Estes derivaram da diretiva europeia 2002/91/UE que teve o objetivo de melhorar o desempenho energético da Comunidade Europeia, tendo em conta as condições climáticas externas bem como as condições locais, exigências de conforto interior e rentabilidade económica [7]. Quanto ao RCCTE foram adicionados objetivos de provisão de renovação de taxas de renovação de ar adequadas que teriam de ser obrigatoriamente satisfeitas [4]. Já a revisão do RCESE tinha os seguintes objetivos [5]:

- Definir as condições de conforto térmico e de higiene nas diferentes zonas do edifício, em conciliação com as respetivas funções;
- Melhorar a eficiência energética global dos edifícios em todo o tipo de consumo de energia, tanto nos edifícios existentes como nos edifícios a construir e nos sujeitos a grandes intervenções, promovendo limitações de consumos para padrões aceitáveis;
- Estabelecer regras de eficiência dos sistemas de climatização que permitiam melhorar o seu desempenho energético e garantir meios para a manutenção de uma boa qualidade do ar interior, desde a fase de projeto ao seu funcionamento, através de uma manutenção apropriada;
- Monitorizar as práticas de manutenção dos sistemas de climatização com regularidade como condição da eficiência energética e da qualidade do ar interior dos edifícios.

2.1.1 Decreto-Lei n.º118/2013

Em agosto de 2013 foi publicado o Decreto-Lei n.º118/2013 que resulta da reformulação da diretiva 2002/91/CE. Esta deu origem a uma nova diretiva: 2010/31/EU.

Este diploma integra o REH e o RECS e tem o objetivo de assegurar e promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios através do SCE, revogando assim os decretos-lei n.º78/2006, n.º79/2006 e n.º80/2006.

Em relação aos edifícios de habitação, que são os que interessam neste estudo, o comportamento térmico e a eficiência de sistemas assumem o papel principal. São definidos requisitos quanto a novos edifícios e a edifícios existentes sujeitos a grandes intervenções.

É estabelecido que o parque edificado deve ser progressivamente composto por edifícios com necessidades quase nulas de energia. Para isso foram definidos princípios gerais de comportamento térmico que devem ser respeitados com vista a promover a melhoria do mesmo, prevenção de patologias, o conforto ambiente e a redução das necessidades energéticas, incidindo, para esse efeito, nas características da envolvente opaca e envidraçada, na ventilação e nas necessidades nominais anuais de energia para aquecimento e arrefecimento.

Para cumprir os objetivos do parágrafo anterior, foram estabelecidos, entre outros aspetos [8]:

- Requisitos de qualidade térmica da envolvente nos novos edifícios e nas intervenções em edifícios existentes, expressos em termos de coeficiente de transmissão térmica da envolvente opaca e de fator solar dos vãos envidraçados;
- Requisito de ventilação dos espaços, impondo um valor mínimo de cálculo para a taxa de renovação do ar em edifícios novos e respetiva adaptação no caso de intervenções em edifícios existentes;
- Valores de necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento do edifício e limites a observar no caso de edifícios novos e de grandes intervenções em edifícios existentes.

Por outro lado, as condições de eficiência energética e qualidade térmica dos edifícios são atualizadas, sendo que se definiram requisitos quanto aos sistemas de climatização, preparação de AQS, iluminação, aproveitamento de energias renováveis, gestão de energia, ficando estes sistemas sujeitos a padrões mínimos de eficiência energética.

Destaca-se ainda neste diploma o incentivo ao uso de energias renováveis, com particular destaque para o aproveitamento solar. É obrigatória a utilização da energia solar térmica ou outra fonte de energia renovável aquando da construção de edifícios novos ou na remodelação de usados.

2.2 Clima, estratégias de construção e sistemas de produção de energia renovável em edifícios

Nos últimos anos a quantidade de soluções técnicas que promovem a melhoria do desempenho energético e comportamento térmico dos edifícios tem aumentado. Esse aumento

tem sido benéfico, sendo que atualmente é possível utilizar soluções inovadoras que produzem o mesmo conforto, ou melhor, que soluções mais antigas e gastam menos energia, ajudando assim o parque edificado a ficar cada vez mais “verde”.

Este subcapítulo tem o intuito de mostrar alguns tipos de estratégias e tecnologias que se podem usar quando se constrói ou quando se faz alguma intervenção em edifícios com a finalidade de os tornar mais eficientes do ponto de vista energético.

É possível construir casas com baixo consumo energético complementando estratégias passivas com estratégias ativas.

As estratégias passivas referem-se ao uso e controlo de fluxos naturais de energia que envolvem o edifício, tais como a radiação solar e o vento, com o objetivo de fornecer luz, aquecimento, arrefecimento e ventilação. As soluções ativas consistem em equipamentos que promovem o conforto e/ou a eficiência energética, podendo funcionar em paralelo com as soluções passivas. As tecnologias usadas podem ser, entre outras: Sistema Solar Térmico, Sistema Solar Fotovoltaico e Bombas de Calor [9].

2.2.1 Clima

O clima é muito importante para o sucesso de um projeto, nomeadamente na escolha das estratégias passivas a adotar, pois, associado a este estão variáveis climáticas que têm grande influência no desempenho energético de um edifício como a temperatura, a humidade, a velocidade do vento, a pressão e a insolação. O ideal é fazer um estudo da zona climática, previamente ao desenvolvimento do projeto, de modo a definir bem as estratégias a usar para proporcionar o conforto desejado e ao mesmo tempo minimizar o consumo de energia [10].

Neste estudo, o clima utilizado é o Mediterrânico, que é comum a algumas zonas de Portugal. Este tipo de clima é comum aos países do sul da Europa e do norte de África que rodeiam o mar Mediterrâneo. Nestes climas, as estações estão bem definidas, sendo que o Verão é caracterizado por ser seco e quente e o Inverno é húmido e tem temperaturas moderadas [11].

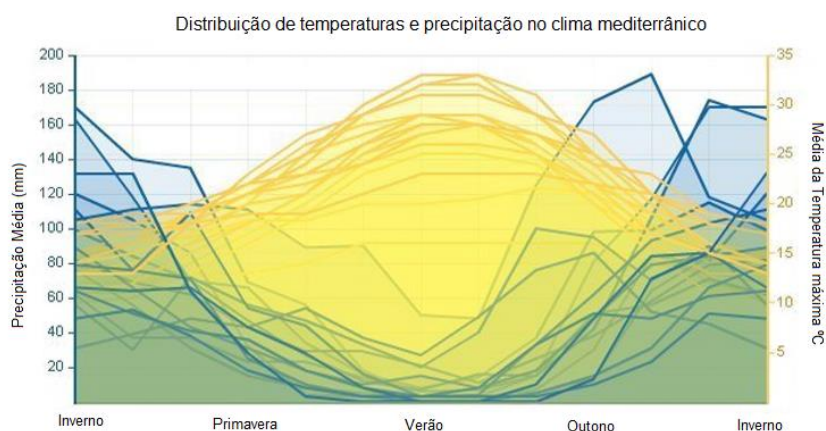


Figura 2.1 - Médias anuais de Temperatura (amarelo) e precipitação (azul) para clima mediterrânico. Fonte: [12] adaptado.

Os Invernos são caracterizados por perturbações ciclónicas e sistemas de baixa pressão que provocam formação de nuvens e precipitação. O Verão é caracterizado por apresentar muitos dias de sol, sem nuvens, provocando ganhos de calor significativos durante o dia e perdas de calor durante a noite [13,14].

A caracterização climática de uma dada região é feita através dos valores médios dos vários elementos climáticos num período de 30 anos, conforme convencionado pela OMM. Estes valores irão ser abordados nos subcapítulos seguintes.

2.2.1.1 Zona Climática

Deve-se ter uma ideia das condições climáticas no local onde se pretende projetar o edifício. Em Portugal, o mapa climático de Inverno e Verão é o seguinte:

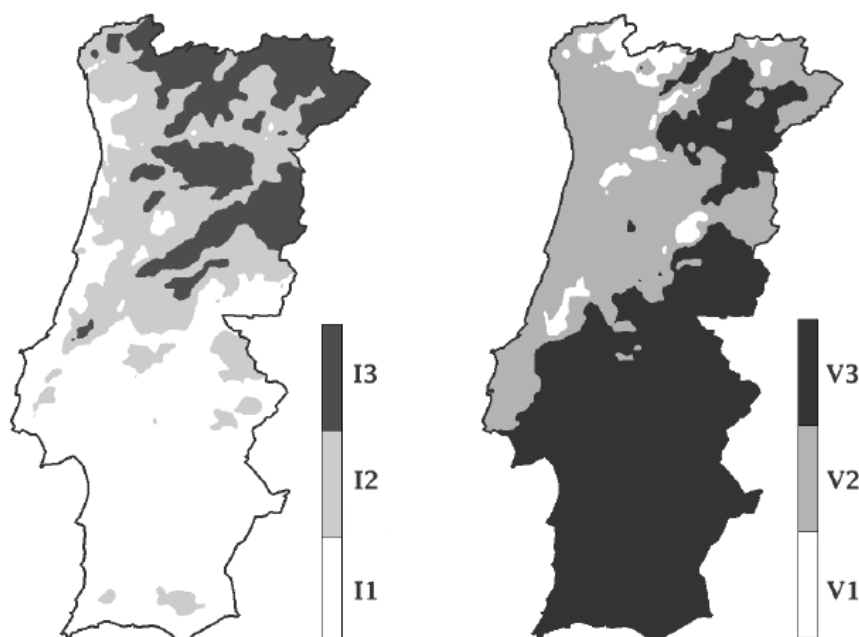


Figura 2.2 - Mapa climático de Portugal. Fonte: [15]

São definidas três zonas climáticas tanto para o Inverno (I1, I2 e I3) como para o verão (V1, V2 e V3) para requisitos de qualidade térmica da envolvente [15].

As zonas classificadas com I1 correspondem a locais com menores necessidades de aquecimento no Inverno, enquanto as zonas I3 têm necessidades mais elevadas. Já no Verão, as zonas com V3 terão maiores necessidades de arrefecimento do que as regiões representadas por V1.

As zonas climáticas de Inverno são definidas a partir do número de GD na base de 18°C, correspondente à estação de aquecimento como se verifica na seguinte tabela [15].

Tabela 2.1 - Critérios para a determinação da zona climática de Inverno. Fonte: [15].

Critério	$GD \leq 1300$	$1300 < GD \leq 1800$	$GD > 1800$
Zona	I1	I2	I3

É possível verificar que a zona de Lisboa se encontra localizada em zonas de tipo I1, de acordo com a figura seguinte:

	z	M		GD		$\theta_{ext,i}$		G_{sol} kWh/m ² por mês
	REF	REF	a	REF	a	REF	a	
	m	meses	mês/km	°C	°C/km	°C	°C/km	
Grande Lisboa	109	5,3	3	1071	1700	10,8	-4	150

Figura 2.3 - Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento. Fonte: [15].

As zonas climáticas de Verão são definidas a partir da temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento, como se pode verificar na seguinte tabela [15].

Tabela 2.2 - Critérios para a determinação da zona climática de verão. Fonte: [15].

Critério	$\theta_{ext,v} \leq 20^{\circ}\text{C}$	$20^{\circ}\text{C} < \theta_{ext,v} \leq 22^{\circ}\text{C}$	$\theta_{ext,v} > 22^{\circ}\text{C}$
Zona	V1	V2	V3

Verifica-se, então, que a zona de Lisboa é de tipo V2, de acordo com a figura seguinte:

	z	$\theta_{ext,v}$		I_{sol} kWh/m ² acumulados de junho a setembro								
	REF	REF	a	0°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°
	m	°C	°C/km	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
Grande Lisboa	109	21,7	-10	840	225	365	500	495	410	495	500	365

Figura 2.4 - Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação convencional de arrefecimento. Fonte: [15].

É possível saber dados mais detalhados acerca das temperaturas para a zona de Lisboa consultando o IPMA. Os valores das temperaturas encontram-se armazenados em bases de dados de fácil acesso, onde podem ser consultados como é apresentado na tabela e figura seguintes:

Tabela 2.3 - Temperatura do ar, normais climatológicas. Fonte: [16].

Temperatura do ar, normais climatológicas – Lisboa (1971-2000)												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Temp.Máx. (°C)	21	25	28	29	35	42	41	38	37	33	26	23
Temp.Min. (°C)	0,4	1,2	2,9	5,5	6,9	10	13	14	11	8	3,9	2,4
Média Temp. Máx. (°C)	15	16	18	19	21	25	28	28	26	22	18	12
Média Temp. Min. (°C)	8,1	9,2	10	12	13	16	18	18	17	15	12	9,5
Média Temp. Média. (°C)	11	13	14	15	17	20	23	23	22	18	15	12

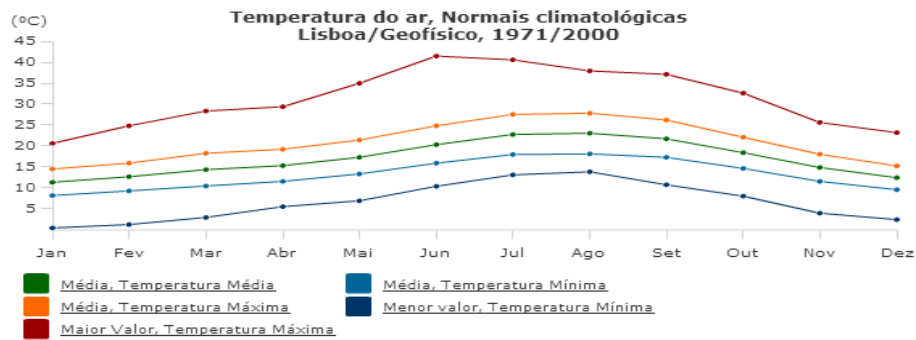


Figura 2.5 - Gráfico da temperatura do ar. Fonte: [16].

2.2.1.2 Precipitação

Na zona de Lisboa, de acordo com o IPMA para o período de 1971-2000, verifica-se que os maiores valores de precipitação média se encontram entre Novembro e Fevereiro e os menores entre Junho e Agosto. O mês que apresenta maior precipitação média é Dezembro com 121,8 mm e o que apresenta menor é Agosto com 6,8mm, como se constata na figura seguinte.

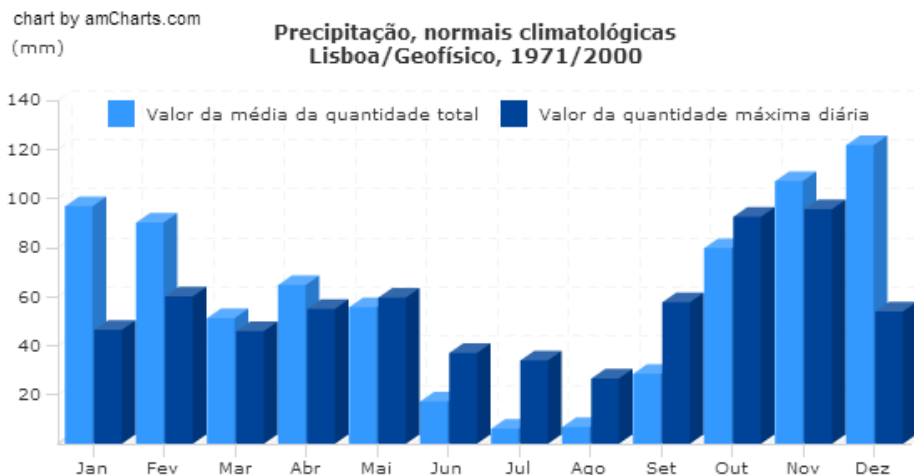


Figura 2.6 - Gráfico da Precipitação média e valores de precipitação máxima ocorridos em Lisboa. Fonte: [16].

2.2.1.3 Insolação e radiação solar

Existe ainda outra variável muito importante neste estudo como se verá mais à frente que é o número de horas em que a luz do sol atinge a terra sem que haja nebulosidade, ou seja, a insolação. Em Lisboa, no ano de 2012, os valores registados encontram-se sintetizados na tabela seguinte:

Tabela 2.4 - Dados de insolação para a cidade de Lisboa no ano 2012. Fonte: [17].

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Nº Horas	220	220	260	180	280	300	360	340	255	180	130	140

É possível verificar que os meses de Verão são os que apresentam maiores valores de insolação, sendo que no mês de Julho ocorreu o pico máximo com 360 horas.

Já radiação é a energia recebida pela terra na forma de ondas eletromagnéticas provenientes do sol. Parte dessa radiação é absorvida pela atmosfera terrestre, sendo a parcela que chega à superfície terrestre subdividida em três componentes;

- Radiação direta – Atinge diretamente a superfície variando consoante a nebulosidade;
- Radiação difusa – Difratada pelos componentes atmosféricos como nuvens, poeiras, vapores, etc;
- Radiação refletida – Refletida pelo solo e objetos.

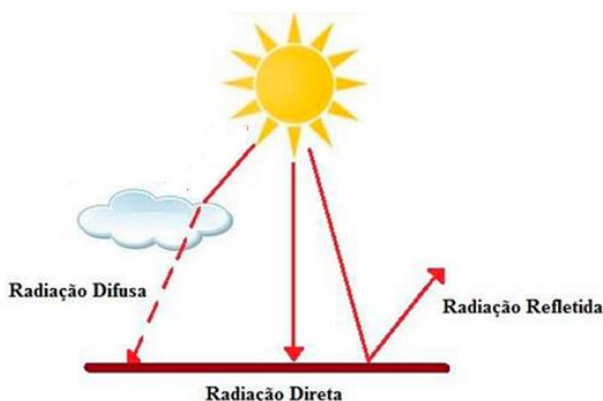


Figura 2.7 - Exemplo das diferentes componentes da radiação. Fonte: [18] adaptado.


2.2.2 Construção do edifício

Para se construir um edifício têm de se ter em conta vários aspetos, principalmente se o objetivo for dimensionar uma moradia energeticamente eficiente. Alguns dos aspetos mais importantes serão apresentados de seguida, tendo em conta os requisitos pretendidos para realizar uma construção sustentável e eficiente, que são pressupostos para um NZEB. Deste modo, é pretendido minimizar o consumo de energia e com isso evitar as emissões que são consequência do consumo energético feito, sem nunca esquecer que existem padrões de conforto que têm de ser cumpridos.

2.2.2.1 Forma e orientação

A forma do edifício tem um impacto forte na sua eficiência energética. Na estação fria é necessário aquecer o edifício devido ao facto do calor gerado dentro deste estar continuamente a ser transmitido para o seu exterior, enquanto na estação quente ocorre o inverso. Quanto maior for a superfície que envolve o volume aquecido, maior será a transferência de calor.

Para ser eficiente do ponto de vista energético, um edifício deve ter um baixo fator de forma, ou seja, uma relação superfície/volume baixa. Na imagem seguinte, pode-se ver que valor é que este parâmetro deve tomar para que seja eficiente:



Tipo de edifício	S/V
Casa independente	Cerca de 0,80
Casa geminada	Cerca de 0,65
Edifício de um piso	Cerca de 0,50
Edifício de vários pisos	Cerca de 0,30

Figura 2.8 - Valores do fator de forma para diferentes tipos de edifício. Fonte: [19].

O conforto que um edifício proporciona e os seus gastos energéticos são essenciais para quem nele habita. A necessidade de captar energia quando está frio ou de dissipar calor quando está quente implica gastos energéticos que podem variar muito consoante a eficiência do edifício. Dá-se muitas vezes o caso de os edifícios serem bastante eficientes no Inverno e menos eficientes no Verão. No entanto, existem edifícios que são eficientes tanto no Inverno como no Verão.

Dependendo do clima pode-se privilegiar mais uma condição em relação a outra. Por exemplo, se o clima for muito frio o dimensionamento do edifício poderá concentrar-se mais para a eficiência durante o Inverno, se o clima for muito quente faz-se o contrário. Num clima como o mediterrânico ambas as situações ocorrem, logo interessa obter o melhor equilíbrio possível entre os dois extremos.

Na região Mediterrânica a orientação mais favorável para obter ganhos solares é a Sul. É preferível que se reduza a exposição solar das superfícies a Este e a Oeste, pois principalmente no Verão é difícil de controlar a entrada de radiação, pois esta ocorre perpendicularmente às janelas devido ao ângulo de incidência, o que pode levar a um sobreaquecimento no Verão. Para combater a influência do frio no Inverno é necessário reduzir as janelas e paredes localizados a Norte e aumentar as que estão localizadas a Sul por serem mais fáceis de proteger da radiação no Verão com sistemas de sombreamento pelo exterior, sendo que a fachada Norte não recebe radiação solar direta [14,19].

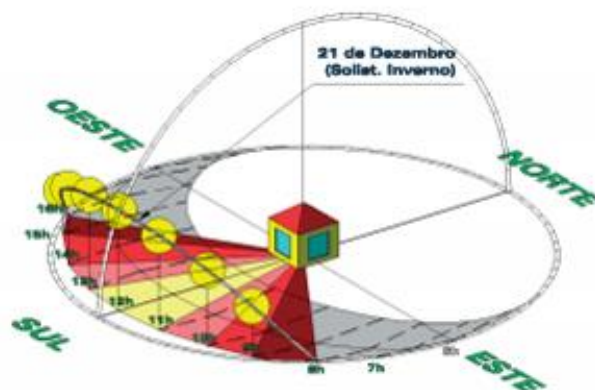


Figura 2.9 - Incidência de radiação num edifício com a fachada principal virada a sul no Inverno. Fonte: [20].

No Inverno é necessário aquecer os edifícios, sendo o percurso do Sol, durante o período da manhã e princípio de tarde, perto da perpendicular aos envidraçados verticais de uma fachada orientada a sul, possibilita uma maior entrada de radiação no edifício [20].

Assim, no lado Norte da casa devem ser localizadas as divisões que necessitem de poucas aberturas para o exterior, como casas de banho e arrumos, pois nesta orientação originam-se grandes perdas térmicas no Inverno através dos envidraçados.

Já no Verão torna-se necessário minimizar os ganhos solares de radiação. Sendo o percurso do Sol mais próximo do zénite, a sua incidência, em envidraçados verticais orientados a sul faz-se com grandes ângulos, o que reduz os ganhos solares [20].

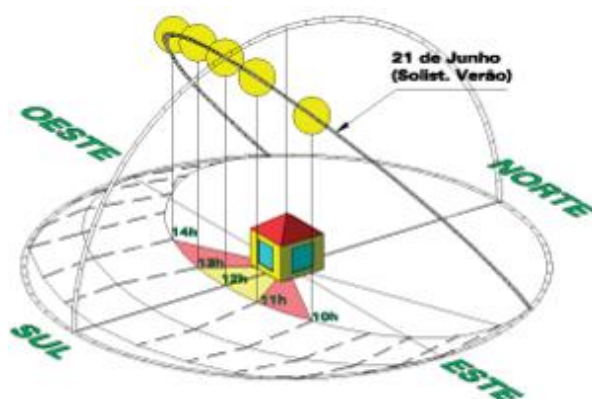


Figura 2.10 - Incidência de radiação num edifício com a fachada principal virada a sul no Verão. Fonte: [20].

2.2.2.2 Envolvente

Do ponto de vista energético, a qualidade de um edifício está ligada às características dos elementos que fazem fronteira entre a casa e o ambiente exterior, ou seja, a sua envolvente exterior. O tipo de materiais usados na construção de um edifício influencia as condições de conforto no seu interior.

De acordo com estudos realizados, as perdas de calor numa moradia podem ser, no geral, representadas do seguinte modo:

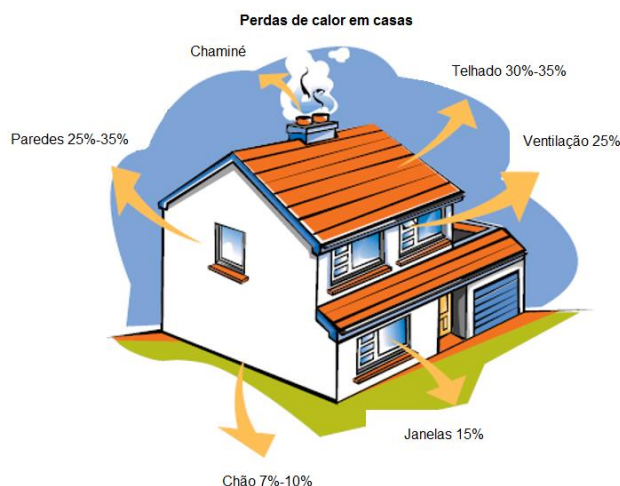


Figura 2.11 - Distribuição de perdas numa moradia. Fonte: [21] adaptado.

As paredes, o telhado e a ventilação representam a maior parte das perdas para o exterior, logo o seu dimensionamento deve ser muito cuidadoso. No entanto, para se dimensionar a casa o mais eficiente possível, nenhum fator deverá ser esquecido. Assim, devem-se minimizar todo o tipo de perdas através da envolvente de modo a diminuir os gastos energéticos.

2.2.2.2.1 Inércia térmica

Uma das características principais a ter em conta, no que diz respeito aos ganhos e perdas de energia, é a inércia térmica dos materiais usados e o seu poder isolante [19].

A inércia térmica depende das características dos materiais. Um valor alto de inércia térmica deve ser obtido usando materiais como o betão armado, paredes de tijolo ou blocos de betão de alta densidade. Estruturas pesadas têm uma elevada capacidade térmica, funcionando assim como reservatórios de calor, ou seja, contrariam os picos climáticos exteriores, pois têm uma elevada capacidade de retenção de energia que entra para o interior do edifício por condução, radiação ou convecção. As casas que são dimensionadas tendo em conta este fator podem ser arejadas de Inverno, quando as temperaturas exteriores são baixas, uma vez que depois de arejar a casa a temperatura interior se restabelece rapidamente. No verão mantém a casa mais fresca pois ao absorver o calor mantém mais fresco o ambiente interior [19].

Pode-se quantificar a inércia térmica do seguinte modo:

Tabela 2.5 - Classes de inércia térmica interior, I_t . Fonte: [8].

Classe de inércia térmica	$I_t [kg/m^2]$
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

A massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento, I_t , é calculada através da seguinte expressão:

$$I_t = \frac{\sum_i M_{Si} \cdot r \cdot S_i}{A_p} [kg/m^2]$$

Equação 2.1 – Quantificação da inércia térmica.

2.2.2.2.2 Isolamento térmico

O isolamento previne a transferência de calor por condução entre o interior e o exterior de um edifício. Um edifício bem isolado consome menos energia. Por outro lado, quando não existe um bom isolamento, o edifício consome mais energia sendo que no Inverno arrefece rapidamente e no Verão aquece mais num menor intervalo de tempo.

Pode-se tirar um maior proveito da inércia térmica quando se isola uma casa pelo exterior, pois os materiais de isolamento térmico têm a capacidade de constituir uma barreira à passagem do calor. Deste modo não se anula o efeito da inércia como no caso em que o isolamento é executado pelo interior. Por outro lado, quando se coloca o isolamento pelo exterior, a massa térmica absorve o excesso de energia que entra no interior do edifício através dos vãos envidraçados ao mesmo tempo que minimiza as perdas de calor para o exterior através das

paredes quando as temperaturas baixam, permitindo que a energia acumulada na massa térmica seja reposta ao ambiente interior quando a temperatura começa a diminuir.

As características térmicas deverão ser tidas em conta na escolha do isolamento térmico, sendo que a mais importante é a condutibilidade térmica dos materiais. Este valor ajuda a perceber a quantidade de calor que se perde pela envolvente, sendo que quanto menor for o valor, melhor será o isolamento pois o calor perdido é menor. Na tabela seguinte apresentam-se alguns dos materiais mais usados para isolar uma casa:

Tabela 2.6 - Alguns tipos de materiais isolantes. Fonte: [22].

Isolantes	$k [W / m. ^\circ C]$
Poliestireno extrudido – CO ₂ blowing (XPS)	0,034
Poliestireno extrudido – HFC (XPS)	0,030
Poliestireno expandido (EPS)	0,040
Lã de vidro	0,036
Lã de rocha	0,040
Poliuretano (PUR)	0,028

2.2.2.2.3 Paredes exteriores

As paredes exteriores têm a maior área de contacto com o exterior em quase todos os edifícios, sendo por isso uma das superfícies mais importantes no que diz respeito a trocas de calor entre o interior e o exterior. As perdas geradas pelas paredes exteriores podem representar cerca de 25% a 30% do total de perdas numa moradia (figura 2.11). Assim, é importante definir como se podem isolar as paredes.

- Isolamento pelo exterior e isolamento pelo interior

No isolamento pelo interior a massa térmica fica isolada, logo este tipo de isolamento pode evitar as pontes térmicas em pilares mas já não o consegue fazer em vigas e lajes, tendo como principal inconveniente o facto de se deixar de aproveitar a inércia térmica das paredes.

No caso de se isolar pelo interior, o isolamento é colocado na parte de dentro das paredes exteriores. Os tipos de isolamento usado neste caso podem ser poliestireno expandido, fibra de vidro e placas de poliuretano. Apesar do poliuretano ser mais caro, a sua performance térmica é cerca de 50% melhor que o poliestireno e fibra de vidro, sendo que 25 mm de espessura deste material equivalem a usar 38 mm de poliestireno [21].

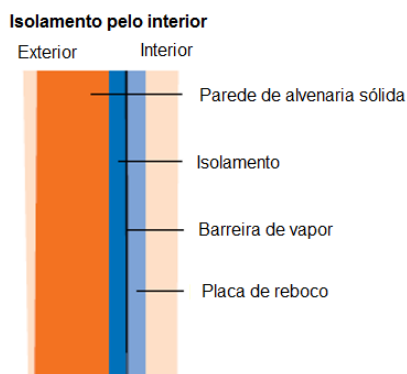


Figura 2.12 – Exemplo de parede com isolamento pelo interior. Fonte: [21] adaptado.

Para além de eliminar o efeito da inércia térmica, esta técnica tem outras desvantagens como o facto de reduzir o espaço interior, diminuindo a área útil, ou seja, a espessura do isolamento que se pode usar é limitada tendo que se usar isolamento de alta performance e consequentemente mais caro.

Quando se isola uma casa pelo exterior, a parede que está do lado de dentro da casa funciona como um reservatório térmico, absorvendo calor durante o dia e libertando-o durante a noite, reduzindo assim as flutuações de temperatura da casa durante o dia.

Já para isolar pelo exterior, os materiais mais usados são a lã mineral ou poliestireno expandido, sendo que ainda podem ser revestidos com uma rede de fibra de vidro ou malha de aço para fortalecer e ganhar resistência ao impacto (figura 2.13).

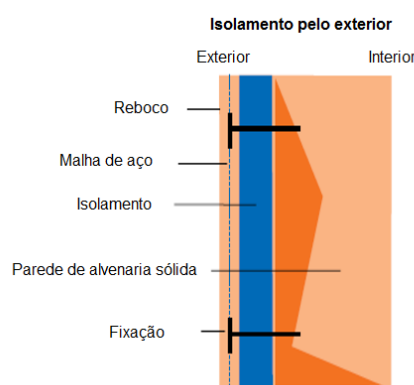


Figura 2.13 – Exemplo de parede com isolamento pelo exterior. Fonte: [21] adaptado.

Existem várias vantagens ao fazer este tipo de isolamento, duas das quais já foram referidas anteriormente: o aproveitamento do efeito da inércia térmica e a redução das pontes térmicas. Outra grande vantagem é o facto de poderem ser usadas maiores espessuras de material isolante, obtendo assim baixos níveis de transmissão de calor que são mais difíceis de alcançar através do isolamento pelo interior.

2.2.2.2.4 Cobertura

As perdas energéticas através da cobertura podem representar cerca de 30% a 35% do total de perdas numa moradia (figura 2.11). Juntamente com as paredes exteriores, esta parte da envolvente é a mais importante do ponto de vista de ganhos e perdas energéticas, sendo então vital que se faça um dimensionamento correto. Existem 2 tipos principais de coberturas: inclinadas e horizontais.

Nas coberturas inclinadas, no caso de o desvão não ser habitável, o isolamento utilizado pode ser colocado na esteira horizontal. Por outro lado, se o desvão for habitável o isolamento deve ser colocado sob o telhado e sobre a laje, sendo que se o telhado não tiver laje o isolamento deve ser colocado sob as telhas.

Já nas coberturas horizontais, o isolamento pode ser colocado de modo idêntico às paredes, ou seja, pelo interior ou exterior, sendo que ainda se pode optar por um isolamento

intermédio. As vantagens e desvantagens de cada um são idênticas às que já se falaram anteriormente para as paredes exteriores.

O tipo de isolamento utilizado nas coberturas horizontais depende da sua estrutura. Para novas coberturas constituídas por betão podem-se usar placas semirrígidas de isolamento, constituídas por XPS ou EPS, fibra de vidro, entre outros [21].

De modo a complementar o isolamento, neste tipo de coberturas são ainda utilizados por vezes espaços ajardinados, que ajudam a proteger o edifício do impacto da radiação solar.

2.2.2.2.5 Pavimento em contacto com o exterior

O tipo de pavimento utilizado é um fator decisivo no que dita a eficiência energética do edifício, nomeadamente o pavimento que está em contacto com o solo exterior. No Inverno este é especialmente importante pois a diferença de temperatura que existe entre o solo exterior e o pavimento do edifício pode fazer com que em caso de mau dimensionamento, os níveis de conforto sejam prejudicados. Num tipo de moradia com um e dois andares as perdas podem representar 15% e 10%, respetivamente, do total de perdas energéticas. Estes valores estão dependentes do tipo de solo em que a construção é feita [9,21].

No que toca ao isolamento, este deve ser feito preferencialmente sob a laje, para potenciar a inércia térmica do edifício e evitar pontes térmicas. Um dos isolantes que se pode utilizar é XPS pelo facto de ter uma alta resistência à compressão.

Quando se pretende fazer aquecimento através de chão radiante, uma espessura adicional de isolante pode ser usada entre a laje e a estrutura de aquecimento, de modo a reduzir o fluxo de calor para o exterior do edifício e aumentando para o interior, como é pretendido.

2.2.2.2.6 Vãos envidraçados

Os vãos envidraçados representam uma parte significativa da envolvente que está em contacto com o exterior. Na figura 2.11, verifica-se que as perdas podem representar 15% o total do edifício. Quando se procede à sua escolha, tem de se ter em conta vários aspetos, nomeadamente o facto de estes serem propícios a originar grandes trocas de calor entre o interior e o exterior. Por um lado, os envidraçados podem contribuir com a entrada de calor sem custos, por outro podem funcionar como fonte de saída de calor, dissipando calor e aumentando assim os gastos energéticos quando não são escolhidos de forma adequada.

O lado Sul da casa deve, preferencialmente, ter cerca de 40% da área total, coberta com envidraçados de modo a maximizar os ganhos solares no Inverno. Nunca deverão ter mais de 50%, pois desse modo os ganhos de Inverno não aumentam muito, sendo que no Verão poderão tornar-se excessivos. Já do lado Este e Oeste, apesar das janelas melhorarem o equilíbrio energético no Inverno, esta melhoria não é significativa, sendo que no Verão contribuem muito para o aumento dos ganhos, que se pretendem evitar [19].

A qualidade de uma janela, do ponto de vista energético, depende da qualidade do vidro e da caixilharia usada. Quanto maior for o número de camadas existentes numa janela, maior será a sua capacidade isolante. Isto deve-se a serem criados espaços entre os vidros

constituídos por gases com valores baixos de condutibilidade térmica e altos valores de resistência à passagem de calor. Um exemplo de dois tipos diferentes de gases que podem ser utilizados como isolantes em janelas encontram-se na tabela abaixo.

Tabela 2.7 - Valores de k para Ar e Árgon. Fonte: [23].

Gás	k [W/m.°C]
Ar atmosférico	0,025
Argon	0,017

O perfil das caixilharias deve ter sempre corte térmico ou várias câmaras, devido a apresentar melhores propriedades térmicas, dissipando melhor o calor. Apesar de se poderem usar vários materiais para fazer a caixilharia, como o alumínio ou madeira, o mais indicado é o PVC por ter um valor mais baixo de condutibilidade térmica, reduzindo assim a perda de calor no Inverno e os ganhos no Verão.

2.2.2.3 Sombreamento

O objetivo do sombreamento é controlar e proteger a entrada de radiação pelos vãos envidraçados para o interior do edifício, de modo a evitar ganhos excessivos.

Existem sombreamentos amovíveis, fixos que tanto podem ser colocados pelo exterior como pelo interior dos vãos.

Utilizar sombreamento pelo interior é menos eficaz que o exterior pois este não impede a entrada de calor, sendo que ajuda bastante no controlo da luminosidade enquanto pelo exterior, o sistema de sombreamento intercepta a radiação antes de esta chegar aos envidraçados.

Os sombreamentos amovíveis podem ser estores, portadas, toldos, cortinas, entre outros. Já os fixos podem ser palas ou lamelas colocadas na vertical ou horizontal. A tabela seguinte resume as características de cada tipo.

Tabela 2.8 - Tipos de sombreamento amovíveis e fixos. Fonte [14].

Amovíveis	Fixos
<p>-Otimizam o processo se sombreamento durante todo o ano por se poderem controlar manualmente ou de forma automática</p> <p>-Controla melhor a entrada de radiação, luminosidade e variações de temperatura de acordo com o que for pretendido por quem usufrui do espaço interior</p>	<p>-Pode beneficiar mais uma estação em relação a outra, diminuindo assim a eficiência do sistema</p> <p>-Não se conseguem mover, logo não seguem o trajeto da radiação</p> <p>-Os sombreamentos horizontais fixos são indicados para colocar na fachada sul devido ao ângulo de incidência da radiação solar</p> <p>-Os sombreamentos laterais fixos oferecem maiores vantagens quando são colocados nas fachas este/oeste, pois nestas fachadas a radiação é mais difícil de controlar por se fazer passar quase na perpendicular às janelas</p>

Existe ainda um fator que se deve ter em conta na escolha do tipo de sombreamento a usar que é o ângulo de incidência da radiação. Este é mais baixo no Inverno e mais alto no Verão e pode fazer a diferença no que dita ao conforto de cada zona uma vez que pode provocar sobreaquecimento no Verão e pode ser subaproveitado no Inverno (figura 2.14).

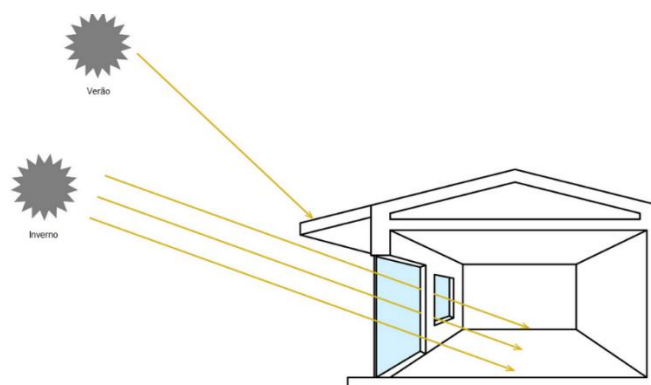


Figura 2.14 - Ângulo de incidência da radiação.

Esta figura é importante, pois mostra a importância do dimensionamento do sombreamento. Se for bem definido, é possível evitar a radiação no Verão e aumentar a radiação recebida no Inverno.

2.2.2.4 Ventilação natural

A ventilação das habitações deve ser geral, permanente e deve durar todo o ano. É muito importante assegurar a qualidade do ar dentro de um edifício. Assim, o ar interior poluído deve ser substituído de acordo com a funcionalidade de cada fração. Existem vários fatores que fazem com que o ar se torne prejudicial, tais como, os produtos da respiração dos ocupantes, a humidade, os vapores libertados na cocção dos alimentos, emissões dos materiais e produtos de combustão [24].

Os sistemas de ventilação natural ajudam a atenuar esses efeitos prejudiciais, renovando o ar. A ventilação pode ser feita ao longo de trajetos de fugas e aberturas no edifício, em consequência das diferenças de pressão, sem auxílio de componentes motorizados de movimentação de ar [2].

Estes sistemas devem obedecer a alguns requisitos que podem ser facilmente consultados em normas. De acordo com a NP de 2015 os requisitos de ventilação são quantificados através de caudais-tipo, expresso em l/s ou m^3/h . O caudal-tipo corresponde ao caudal de ar novo a admitir na habitação. Estes são caudais de referência utilizados para o dimensionamento de sistemas de ventilação natural que não devem ser vistos como caudais assegurados fisicamente, uma vez que não há controlo sobre as ações que promovem a ventilação natural [24].

O caudal-tipo é determinado tendo em atenção o volume do espaço a ventilar e os requisitos mínimos de renovação de ar. Existem dois tipos de zonas a considerar: serviço e principais.

As de serviço pressupõe ter qualquer uma das seguintes utilizações: zonas de lavagens, instalações sanitárias, zonas de confeção de alimentos ou de armazenamento. Os requisitos de extração de ar neste caso são os seguintes:

COMPARTIMENTO		VOLUME				
		$\leq 8 \text{ m}^3$	$> 8 \text{ m}^3$ $\leq 11 \text{ m}^3$	$> 11 \text{ m}^3$ $\leq 15 \text{ m}^3$	$> 15 \text{ m}^3$ $\leq 22 \text{ m}^3$	$> 22 \text{ m}^3$ $\leq 30 \text{ m}^3$
Cozinha e outros espaços para instalação de aparelhos a gás		(1)	17 l/s (60 m ³ /h)		25 l/s (90 m ³ /h)	33 l/s (120 m ³ /h)
Instalação sanitária	com banheira ou duche	13 l/s (45 m ³ /h)		17 l/s (60 m ³ /h)	25 l/s (90 m ³ /h)	(2)
	sem banheira nem duche	8 l/s (30 m ³ /h)	13 l/s (45 m ³ /h)	17 l/s (60 m ³ /h)	(2)	(2)
Espaços para lavandaria		8 l/s (30 m ³ /h)	13 l/s (45 m ³ /h)	17 l/s (60 m ³ /h)	(2)	(2)
<p>(1) Volumes para os quais não é permitida a instalação de aparelhos a gás do tipo A. Esta instalação é permitida para os aparelhos do B_{11BS} desde que o local seja destinado apenas para alojamento deste (ver, também, a NP 1037-3-1).</p> <p>(2) Volumes pouco usuais em compartimentos deste tipo em relação aos quais se recomenda o dimensionamento caso a caso tendo em conta os requisitos acima referidos.</p>						

Figura 2.15 - Caudais-tipo a extrair nos compartimentos de serviço. Fonte: [24].

Os comportamentos principais são zonas de estar ou de dormir, quartos, escritórios, salas de estar e de jantar e têm os requisitos seguintes:

Volume (m ³)	≤ 30	> 30 ≤ 60	> 60 ≤ 90	> 90 ≤ 120	> 120 ≤ 150	> 150 ≤ 180	> 180 ≤ 210	> 210 ≤ 240
Caudal-tipo (l/s) (m ³ /h)	8 (30)	17 (60)	25 (90)	33 (120)	42 (150)	50 (180)	58 (210)	67 (240)

Figura 2.16 - Caudais-tipo a admitir nos compartimentos principais. Fonte: [24].

Devido às necessidades de ventilação ou renovação de ar interior de um espaço ocorrem perdas térmicas na estação de aquecimento, uma vez que o ar quente está constantemente a ser renovado por ar novo. Estas perdas originam-se sobretudo pela abertura dos vãos, através de frinchas ou juntas quando se encontram fechados ou a partir de grelhas de ventilação.

No entanto, no Verão ou em períodos em que as temperaturas se encontram mais elevadas, a utilização do ar exterior pode permitir que se façam poupanças interessantes a nível energético. Por norma, nestas alturas as temperaturas dos edifícios acabam por aumentar mais do que o desejado, podendo por vezes pôr em causa o conforto.

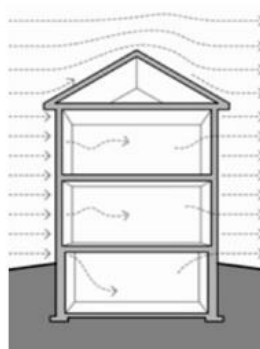
Para ajudar a contrariar este facto, existe uma técnica que se utiliza: *free cooling* (arrefecimento livre e gratuito). Esta técnica tem como base a exploração das diferenças de temperatura entre dois ambientes para arrefecimento. Deste modo utiliza-se o ar exterior, fazendo-o entrar no edifício naturalmente através de aberturas (janelas, portadas, portas, etc) em zonas inferiores por este ser mais denso que o ar quente. Assim o ar frio vai entrando progressivamente no edifício empurrando o ar quente para uma zona superior onde é expulso para o exterior.

Esta técnica utiliza-se nomeadamente no período noturno, pelo facto de neste período a temperatura do ar no exterior ser quase sempre menor que no interior, permitindo assim arrefecer o edifício gratuitamente, reduzindo assim as suas necessidades de arrefecimento.

2.2.2.5 Permeabilidade ao ar

A permeabilidade de um edifício, ou a taxa de infiltração a que está sujeito faz a diferença no seu balanço energético e consequentemente nos seus gastos com aquecimento e arrefecimento. Este desperdício energético deve-se à entrada de caudais de ar que poderão ser consideráveis a partir do exterior através de fissuras, orifícios ou porosidades na envolvente da habitação (fachadas, portas exteriores, caixa de estores e caixilharia exterior).

O que acontece é que o vento que incide no edifício cria uma pressão positiva na fachada de barlavento e uma pressão negativa na fachada de sotavento e essas diferenças de pressão retiram o ar do interior para o exterior causando desconforto e perdas energéticas [25].



Efeito do vento

Figura 2.17 - Exemplo de ocorrência de infiltrações num edifício. Fonte: [25] adaptado.

Um edifício cujo projeto da envolvente esteja bem definido, ou seja, em que os caudais de ar não intencionais sejam minimizados tem inúmeros benefícios como [25]:

- Gastos energéticos mais reduzidos devido às perdas energéticas serem menores, ou seja, menores necessidades de arrefecimento e aquecimento.
- Melhor *performance* dos sistemas de ventilação, devido a ocorrerem menores perturbações no fluxo de ar com caudais não pretendidos.
- Humidade menos suscetível de entrar na habitação.
- Redução de correntes de ar, ou seja, melhor conforto térmico.

Existem valores limite de permeabilidade ao ar da envolvente dos edifícios, expresso no valor n_{50} (h^{-1}), que podem ser obtidos através de ensaios de pressurização. No caso da NP, para uma diferença de pressão de 50 Pa os valores máximos estão presentes na seguinte tabela:

Altura acima do solo	Duas fachadas com janelas expostas ao exterior	Mais de duas fachadas com janelas expostas ao exterior
≤ 10 m	2,1	2,8
> 10 m e ≤ 18 m	1,8	2,5
> 18 m e ≤ 28 m	1,2	1,6
> 28 m e ≤ 60 m	0,9	1,2

Figura 2.18 - Limites da permeabilidade ao ar da envolvente de edifícios n_{50} em função da altura da acima do solo. Fonte: [24].

2.2.2.6 Equipamentos eficientes

É cada vez mais importante e frequente o uso de equipamentos eficientes em habitações. Estes equipamentos podem ser: frigoríficos, congeladores, máquinas de lavar roupa, máquinas de lavar loiça, televisores, etc.

Foi criada recentemente a etiqueta energética da UE. Esta tem por objetivo fornecer ao consumidor informações sobre o desempenho e outras características essenciais dos produtos. A etiqueta energética permite que o consumidor conheça o nível de eficiência energética de um produto e assim se avalie o potencial de redução de gastos energéticos que este proporciona [26].

A etiqueta é uniforme para todos os produtos da mesma categoria, sendo assim fácil a comparação de produtos com o mesmo fim tendo em conta o seu consumo de água, energia, ou capacidade. Atualmente existem classes energéticas de A a G, sendo A a classe energética mais eficiente e G a menos eficiente. Na classe A existem subclasses, até A+++, para adaptar a informação à evolução tecnológica existente e para permitir uma maior diferenciação do produto em termos de eficiência energética [26].



Figura 2.19 - Etiqueta energética da UE. Fonte: [26].

2.2.2.7 Iluminação

O consumo de energia elétrica pode ser um problema quando não se usam as tecnologias mais eficientes. A iluminação representa umas das maiores fatias de gastos energéticos de um edifício, sendo que as tecnologias a usar devem ser escolhidas com atenção.

No que dita à eficiência energética nas tecnologias de iluminação, a tecnologia LED representa a mais importante evolução nesta área. Um LED apresenta várias características, entre as quais:

- Constituído por várias camadas de material semicondutor.
- Potências baixas.
- Poupanças energéticas até 90% em relação lâmpadas incandescentes.
- Não utiliza componentes tóxicos na sua composição, nomeadamente isenção de mercúrio.
- Tempo de vida útil elevado.
- Alto rendimento luminoso.
- Preço elevado.
- Baixa emissão de calor, já que apresentam valores de perdas por efeito de Joule bastante reduzidas.

Enquanto os valores típicos de iluminação em lâmpadas fluorescentes se situam nos 65 lm/W, um sistema LED apresenta valores entre os 100 e os 150 lm/W. Adicionalmente, esta tecnologia dispensa o uso de equipamento auxiliar, como por exemplo balastos e arrancadores, que também consomem energia no seu funcionamento [27].

O Lumen é a unidade de medida do fluxo luminoso, este dá uma ideia de quão brilhante uma lâmpada é. Na figura seguinte verifica-se que a tecnologia LED é a que necessita de menos potência para atingir a mesma quantidade de Lumens das outras tecnologias [28].

Incandescente (W)	CFL (W)	LED (W)	Lumens (Brilho)
40	8 - 12	6 - 9	400 - 500
60	13 - 18	8 - 12.5	650 - 900
75 - 100	18 - 22	13+	1100 - 1750
100	23 - 30	16 - 20	1800+
150	30 - 55	25 - 28	2780

Figura 2.20 - Potência de diversos tipos de lâmpadas vs Lumens. Fonte: [28] adaptado.

2.2.3 Sistemas de produção de energia renovável

Antes de se proceder à explicação dos diversos tipos de sistemas importantes para realização deste estudo, decidiu-se fazer uma breve análise à energia solar devido à importância que esta irá ter mais à frente neste estudo.

2.2.3.1 Energia Solar

O sol é a maior fonte de energia que existe no planeta. O aproveitamento desta energia não apresenta impactos negativos para o meio ambiente e apresenta-se como uma das maiores alternativas aos combustíveis fósseis, logo faz sentido que seja aproveitada. Na figura seguinte é ilustrada a média dos valores anuais e distribuição de radiação incidente no território Europeu entre Abril de 2004 e Março de 2011.

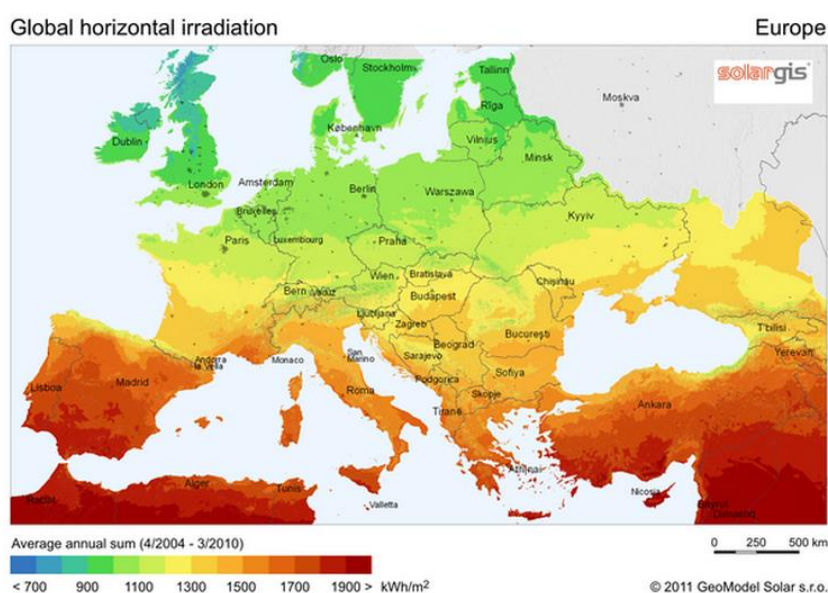


Figura 2.21 - Radiação incidente território Europeu. Fonte: [29].

Verifica-se que o território Português tem um dos maiores níveis de radiação incidente, mas ainda assim, apesar de ser evidente a evolução que tem havido ao longo dos anos, esta energia continua a ser subaproveitada tanto para produção térmica como fotovoltaica.

Nos países nórdicos, existem zonas com menos de metade da radiação que Portugal recebe e ainda assim conseguem aproveitar melhor essa energia. Por exemplo, a Alemanha vive com menos 90% luz solar do que o resto da população mundial e é um país com grandes necessidades energéticas devido à sua evolução industrial. Ainda assim, tem o record de utilização de produção percentual de energia solar, onde num só dia conseguiu produzir mais de 50% das suas necessidades energéticas diárias apenas através da utilização de painéis solares [30].

Neste estudo, a energia solar é fundamental para melhorar o aproveitamento térmico, com coletores solares térmicos e aproveitamento elétrico através de painéis fotovoltaicos. Só será possível que um edifício convirja para um NZEB com a utilização deste tipo de aproveitamento energético.

2.2.3.2 Sistema de produção de energia solar térmica

Um sistema solar térmico permite, com muito alta eficiência energética, não só fazer o aquecimento das AQS, produzindo água quente durante todo o ano, mas também apoiar o aquecimento ambiente ajudando assim a manter a temperatura de uma habitação agradável durante todo o ano. Atualmente os valores recomendados de temperatura padrão situam-se entre os 20 °C e os 25 °C [31].

Este tipo de sistema é, essencialmente, constituído por coletores solares, um circuito primário ou direto, bombas circuladoras ou termossifão, um circuito secundário, vaso de expansão, apoio e depósito.

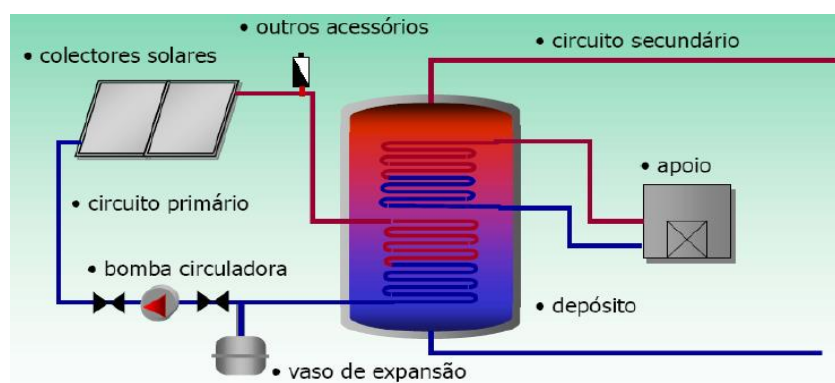


Figura 2.22 - Sistema solar térmico. Fonte: [32].

2.2.3.2.1 Coletor solar térmico

Um coletor solar térmico é um painel que capta energia solar para o aquecimento das AQS ou ambiente, convertendo energia solar em calor. Existem vários tipos de coletores, os mais importantes são coletores planos, CPC e coletores de tubos de vácuo. Todos eles com características que lhes permite absorver muita energia e emitir pouca.

A eficiência de um coletor depende da diferença de temperatura entre coletor e meio ambiente. Assim, de acordo com a finalidade de aquecimento devem se consultados gráficos como o que se encontra na figura seguinte de modo a dimensionar o sistema mais eficiente possível.

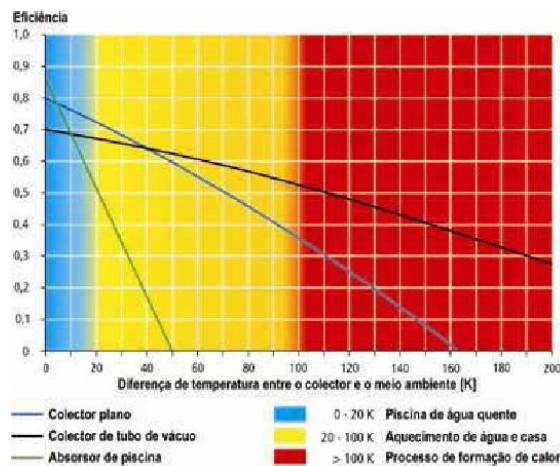


Figura 2.23 - Eficiência de um sistema solar térmico em função da diferença de temperatura. Fonte: [32].

Segue-se então uma breve explicação dos vários tipos de coletores existentes.

2.2.3.2.1.1 Coletores planos

Os coletores planos são os dispositivos mais simples para converter energia solar em calor. Estes podem aquecer água até 60 °C e são compostos do seguinte modo:

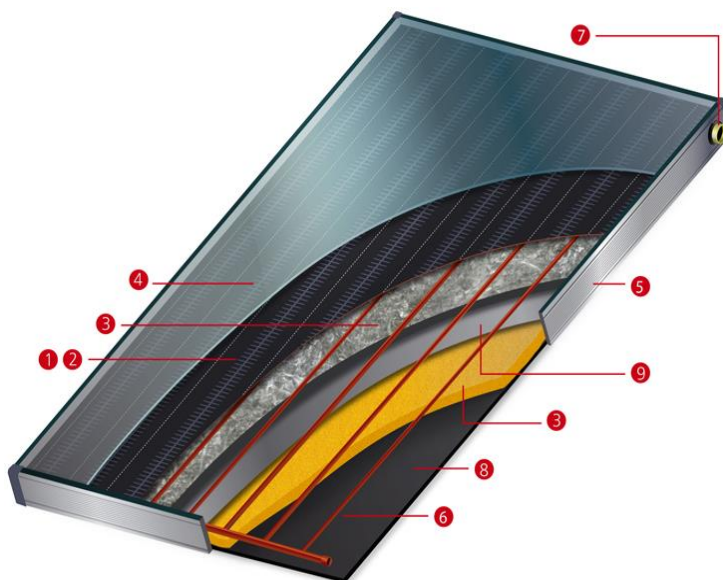


Figura 2.24 - Coletor solar plano. Fonte: [33].

Em que:

1. Placa de absorção – Chapa metálica, boa condutora térmica (alumínio ou cobre) com alta absorvidade.
2. Revestimento – Polímeros que ajudam a maximizar a absorção de energia.

3. Isolamento – Espuma rígida. Normalmente Poliuretano que ajuda a maximizar a retenção de calor.
4. Vidro – Normalmente temperado e de alta performance, indispensável para reduzir reflexos permitindo alta transmissão da luz solar, diminuindo assim as perdas por radiação.
5. Moldura – Alumínio com boa durabilidade e resistência à corrosão.
6. Tubos – Cobre, para otimizar a condução de calor.
7. Conector – Saída do coletor que faz a ligação entre ao tanque de armazenamento.
8. Fundo – Chapa normalmente constituída por alumínio.
9. Chapa intermediária – Folha de alumínio que atua como barreira contra fluxo de ar quente para o segundo isolante.

2.2.3.2.1.2 Coletores parabólicos compostos

Os CPC permitem concentrar a radiação, sendo compostos por uma série de refletores que direcionam a radiação para alhetas ou diretamente para os tubos onde circula o fluido térmico que se pretende aquecer. Este tipo de coletor permite atingir temperaturas mais altas que os coletores planos, têm maior rendimento e podem ser utilizados tanto em processos domésticos como industriais. A sua constituição é muito parecida com os coletores planos, mudando apenas a geometria, como se verifica na figura a baixo.

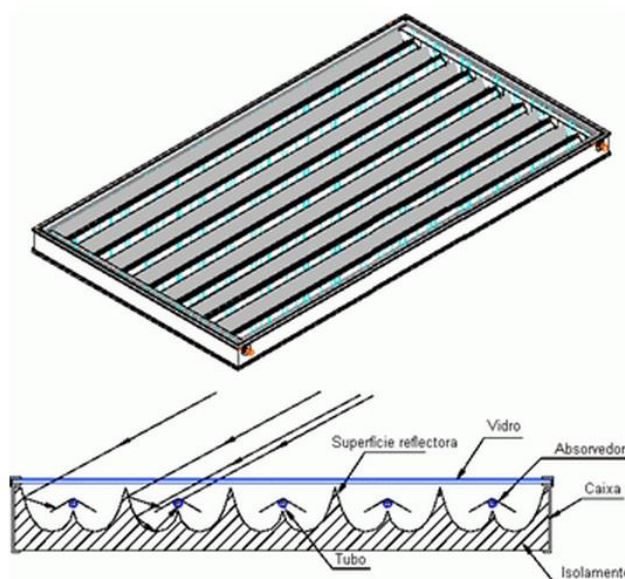


Figura 2.25 - Coletores parabólicos compostos. Fonte: [34].

2.2.3.2.1.3 Coletores de tubo de vácuo

Os coletores de tubo de vácuo são normalmente constituídos por um tubo de vidro de parede dupla, dentro do qual existe vácuo. Estes podem ser compostos do seguinte modo e ter o aspeto seguinte:



Figura 2.26 - Composição coletor de tubo de vácuo à esquerda e exemplo de aplicação numa habitação à direita. Fonte: [35] adaptado.

Em que:

1. *Heat pipe* – Faz a transferência de calor absorvido para a parte superior do coletor.
2. Encaixe do tubo de vácuo – Permite encaixar o tubo ao tubo de distribuição.
3. Isolamento superior – Fixa o heat pipe e isola a parte superior de modo a reduzir as perdas.
4. Tiras de alumínio – Conduzem o calor desde a superfície absorvedora até ao tubo de cobre.
5. Camada de vácuo – Funciona como um isolamento térmico pelo exterior que reduz as perdas de calor para valores mínimos.
6. Tubo de vácuo com superfície absorvedora – Permite a máxima captação de energia térmica do sol, minimização de perdas térmicas e resistência a temperaturas muito altas.
7. Ponta do tubo – Esta superfície garante que se mantém o interior do tubo numa condição de vácuo, eliminando as perdas por convecção e condução.

Algumas das vantagens destes sistemas são, entre outras:

- O facto de mesmo quando existem temperaturas exteriores baixas, estes eliminam as perdas por usarem o vácuo como isolante, não desperdiçando a energia solar;
- Não existe problema quando não há radiação solar direta pois estes sistemas aproveitam permanentemente a radiação solar difusa, o que também é uma vantagem nos meses com baixa radiação solar;
- Mesmo quando as temperaturas exteriores são negativas estes não correm riscos de quebrar por não contêm água no seu interior;
- Capacidade de aquecer água até temperaturas muito altas.

2.2.3.2.2 Funcionamento e elementos que constituem o circuito

No circuito primário (figura 2.22) circula o fluido térmico que é aquecido. Quando este passa no depósito permuta calor com a água que por sua vez também aquece. Pode também optar-se por um circuito direto, ou seja, o fluido aquecido é a água que se pretende consumir, no entanto apesar de este ter uma maior eficiência traz vários inconvenientes como por exemplo: perigo de congelamento do circuito, pressão nos coletores igual à pressão da rede, perigo de corrosão, etc.

A bomba circuladora (figura 2.27) é utilizada quando se dimensiona um sistema de circulação forçada. Esta faz com que o fluido consiga vencer as perdas de carga do circuito, ajudando-o a vencer a gravidade, no entanto precisa de uma fonte elétrica para funcionar. Nestes sistemas o acumulador de água não necessita de se encontrar num patamar superior aos coletores pois é a bomba que faz circular o fluido.



Figura 2.27 - Exemplo de bomba circuladora utilizada em sistemas solares térmicos.

Fonte: [36].

Por outro lado, se se optar pela utilização de um sistema de circulação natural (termossifão), o fluido circula livremente no circuito, ou seja, não é necessária a utilização de energia elétrica. Este sistema tem como base a diferença de densidades, sendo que o fluido aquecido sobe e o fluido mais frio mantém-se num nível mais baixo. Deste modo o acumulador tem de estar instalado num patamar superior aos coletores solares para o fluido se deslocar. O aspeto e funcionamento deste tipo de sistemas está representado na seguinte figura.

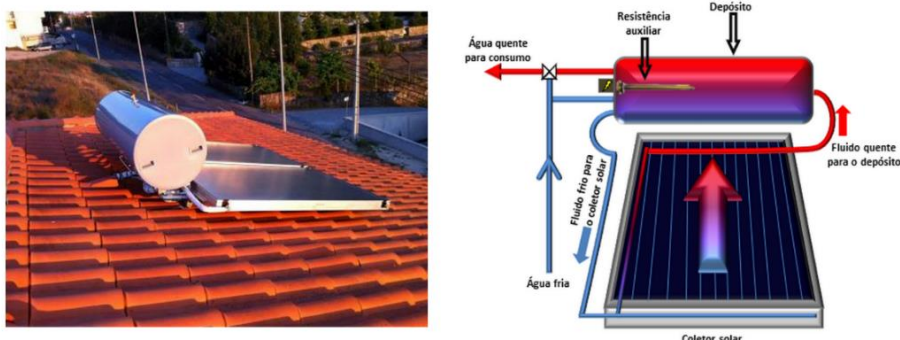


Figura 2.28 - Exemplo de implementação de um sistema de termossifão (esquerda) e esquema de funcionamento (direita). Fonte: [37].

O vaso de expansão serve para dar alguma folga ao sistema, pois a densidade do fluido varia com a diferença de temperaturas. Ao aquecer o fluido ele dilata aumentando assim a pressão dentro do circuito, que é fechado. Deste modo a tubagem pode rebentar e provocar danos irreversíveis nos circuitos. Com a utilização deste equipamento, estes danos são prevenidos funcionando assim como um sistema de segurança.

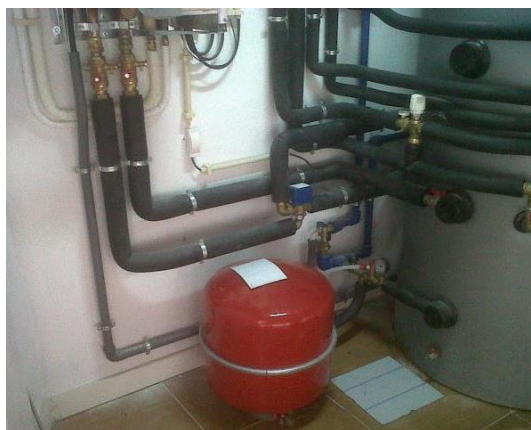


Figura 2.29 - Exemplo de implementação de um vaso de expansão (equipamento vermelho) num sistema solar térmico. Fonte: [38].

Muito importante ainda no sistema é o tipo de apoio utilizado (figura 2.22). Nem sempre se consegue obter a energia pretendida para fazer face às necessidades. Assim, por vezes, tem de se recorrer à rede elétrica, sobretudo nas estações mais frias, em que a radiação solar é insuficiente ou quando existe nebulosidade. Exemplos de equipamentos de apoio podem ser caldeiras, esquentadores, resistências elétricas ou apoio de bomba de calor.

Por último, o depósito funciona como um armazenador de calor que pode ser usado quando é necessária a utilização da água. Este sistema tem de obedecer a requisitos de dimensionamento. Salienta-se que para um dimensionamento correto, o valor de eficácia do depósito tem de ser sempre maior que 0,7, ou seja, a relação entre a energia calorífica permutada e a máxima que teoricamente poderia permutar [39].

Dos tipos de depósitos existentes destacam-se, neste estudo, os que têm permutador de calor interno estratificados. Estes depósitos evitam as perdas de calor que se geram quando o fluido quente passa nas camadas inferiores do depósito que são mais frias, evitando dessa forma a utilização da energia de apoio sistematicamente [40].



Figura 2.30 - Depósito de acumulação estratificado. Fonte: [41].

Este tipo de depósito apresenta ainda outras vantagens como [40]:

- Melhor rentabilidade para cada sistema de aquecimento (solar, biomassa).
- Perdas térmicas reduzidas devido ao seu isolamento extremamente eficiente.
- Longa vida útil.

Por último, é importante referir que estes sistemas devem possuir ainda sistemas de eliminação de bactérias que se formam muitas vezes nos reservatórios e que podem tornar a água prejudicial para utilização e consumo.

2.2.3.2.3 Águas Quentes Sanitárias

Como já foi dito anteriormente é possível fazer o aquecimento das AQS recorrendo a sistemas solares térmicos. Para isso é necessário dimensionar o sistema de acordo com as necessidades existentes.

A energia útil necessária para a preparação de AQS durante um ano é calculada de acordo com a seguinte expressão, segundo o despacho n.º15793-I/2013, que regulamenta a metodologia de cálculo das necessidades nominais de energia útil para a produção AQS [15]:

$$Q_a = (M_{AQS} \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot n_d) / 3600000 \quad [kWh/ano]$$

Equação 2.2 - Cálculo das necessidades nominais de energia útil para produção de AQS.

Em que $\Delta T = 35^\circ C$ e $n_d = 365$ dias. O parâmetro denominado por M_{AQS} , indica o consumo médio diário de água quente de referência, que é calculado de acordo com a seguinte expressão:

$$M_{AQS} = 40 \cdot n \cdot f_{eh} \quad [litros/dia]$$

Equação 2.3 - Cálculo consumo médio diário de água quente numa habitação.

Em que n é o número convencional de ocupantes de cada fração autónoma, definido em função da tipologia da fração sendo que se deve considerar 2 ocupantes no caso da tipologia T0, e $n+1$ ocupantes nas tipologias do tipo Tn com $n > 0$. Por outro lado f_{eh} é o fator de eficiência hídrica, aplicável a chuveiros ou sistemas de duche com certificação e rotulagem de eficiência hídrica, de acordo com um sistema de certificação de eficiência hídrica da responsabilidade de uma entidade independente reconhecida pelo sector das instalações prediais. Para chuveiros ou sistemas de duche com rótulo A ou superior, $f_{eh} = 0,90$, sendo que nos restantes casos, $f_{eh} = 1$.

2.2.3.2.4 Aquecimento ambiente

Um sistema solar térmico pode ainda ajudar a cobrir as necessidades de aquecimento ambiente de uma habitação ou mesmo suprir todas elas. O grande benefício de usar esta tecnologia para este fim é que consegue dar o mesmo conforto ou melhor do que as tecnologias que utilizam combustíveis fósseis como fonte de energia principal para aquecimento. Assim, previnem-se não só as elevadas emissões prejudiciais inerentes ao processo de produção de eletricidade como também a nível económico será uma solução mais viável.

Existem vários tipos de sistemas de aquecimento que podem ser utilizados num edifício. Na seguinte figura pode ser observado qual o aquecimento ideal que deve existir numa habitação e comparado com os existentes:

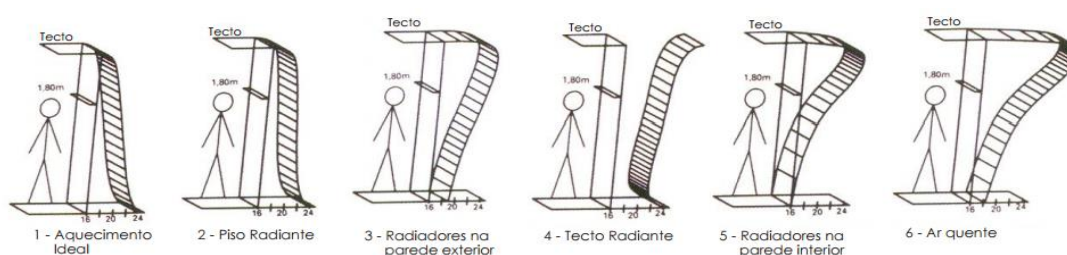


Figura 2.31 - Distribuição de temperaturas em diferentes sistemas de aquecimento.

Fonte: [42].

O sistema de piso radiante é aquele que mais se aproxima do aquecimento ideal. Este elimina um dos principais problemas de aquecimento que existe, pois começa por libertar calor de uma forma natural, de baixo para cima. Assim o calor sobe gradualmente até as zonas superiores proporcionando um melhor conforto e bem-estar, mantendo assim os pés quentes e a cabeça fria. Além destas, este sistema possui ainda inúmeras vantagens como [42,43]:

- Poupança de combustível na produção de calor.
- Sistema invisível, permitindo aproveitar a área habitável ao máximo.
- A baixa temperatura do piso radiante evita a circulação e a decomposição de poeiras no ambiente, que são a principal causa de irritação das vias respiratória.

No dimensionamento destes sistemas tem ainda que se ter em atenção alguns aspetos como [42]:

- A temperatura do fluido é cerca de 40 °C e a diferença de temperaturas de ida e retorno do circuito tem de ser reduzida, normalmente encontra-se entre os 8 °C e os 10 °C.
- A emissão de energia por compartimento deverá ser entre 90 e 100 W/m².
- O comprimento de cada circuito de piso radiante não deverá exceder os 200 metros.
- A distância entre tubos deverá variar entre 75 mm e 300 mm.
- A distribuição dos tubos não deverá ser aleatória. É necessário que o tubo distribua de forma homogênea o calor por toda a superfície (figura 2.32).

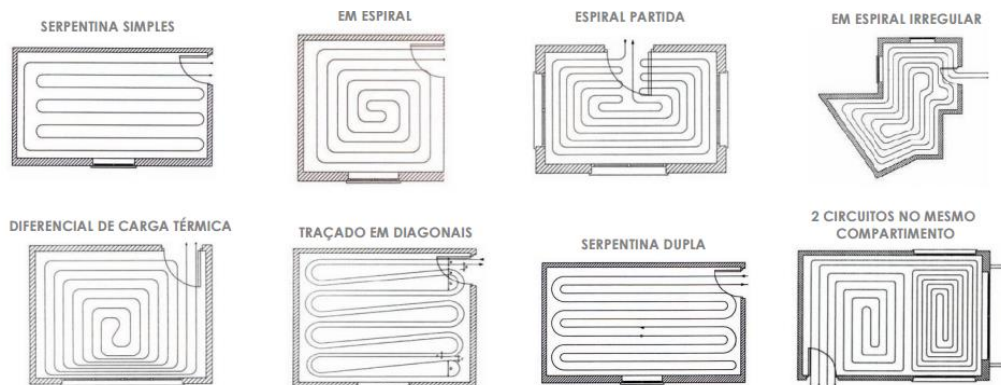


Figura 2.32 - Diferentes tipos de circuito para piso radiante. Fonte: [25].

2.2.3.3 Sistema de produção de energia solar fotovoltaica

Um sistema solar fotovoltaico aproveita a energia solar para produzir energia elétrica. Estes sistemas podem ser compostos do seguinte modo (figura 2.33):

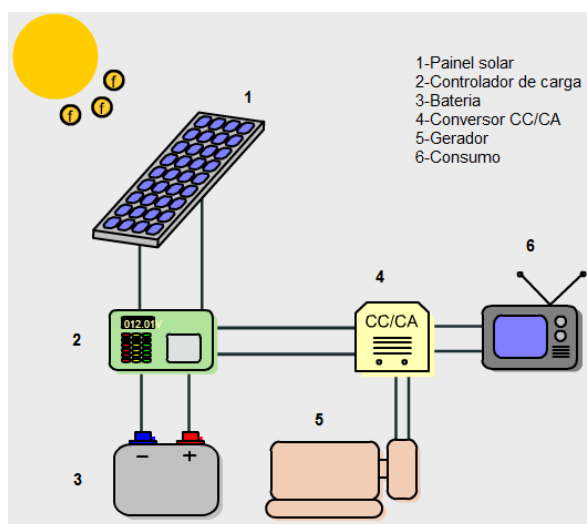


Figura 2.33 - Sistema fotovoltaico. Fonte: [44].

Os painéis (1) convertem a energia solar diretamente em energia elétrica. Esta energia é armazenada na bateria (3), sendo a carga desta controlada pelo controlador de carga (2).

Porém, esta energia encontra-se em CC, sendo necessário um conversor de corrente (4). Este transforma a CC em CA, que pode ser usada no consumo doméstico pelos equipamentos elétricos (6). Este tipo de sistemas é autônomo, uma vez que poderá existir uma energia de apoio produzida pelo Gerador (5).

Estes sistemas podem ainda estar ligados à rede elétrica, onde se pode injetar parte da energia ou a totalidade produzida (figura 2.34).

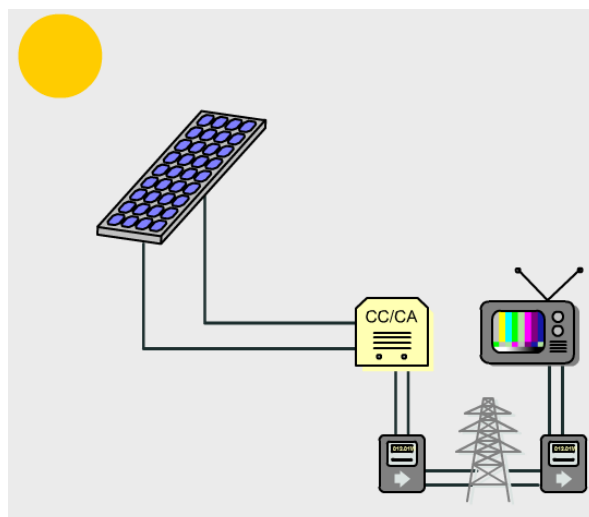


Figura 2.34 - Sistema fotovoltaico ligado à rede. Fonte: [44].

Quanto ao preço da eletricidade este tem vindo a aumentar progressivamente na última década como se pode verificar na figura seguinte.

Ano	IVA	Tarifa simples	Fora do Vazio	Vazio
2001	5%	0,0893	0,0893	0,0498
2002	5%	0,0920	0,0920	0,0503
2003	5%	0,0945	0,0945	0,0517
2004	5%	0,0965	0,0965	0,0528
2005	5%	0,0988	0,0988	0,0540
2006	5%	0,1011	0,1011	0,0552
2007	5%	0,1077	0,1077	0,0584
2007	5%	0,1071	0,1071	0,0582
2008	5%	0,1143	0,1132	0,0614
2009	5%	0,1211	0,1233	0,0663
2010	5%	0,1285	0,1382	0,0742
2010	5%	0,1285	0,1382	0,0742
2011	6%	0,1326	0,1448	0,0778
2011	6%	0,1326	0,1448	0,0778
2012	23%	0,1393	0,1551	0,0833
2013	23%	0,1405	0,1641	0,0870
2014	23%	0,1528	0,1785	0,0946

Figura 2.35 - Evolução das tarifas de eletricidade. Fonte: [45].

Em média, nos últimos 13 anos o preço da tarifa simples da eletricidade cresceu 4,58% ao ano. Dado este aumento, faz sentido pensar em sistemas fotovoltaicos não só por serem soluções ambientalmente melhores como também podem permitir poupanças financeiras significativas. Contudo estes sistemas têm elevados custos e um rendimento relativamente baixo, mas com um estudo e dimensionamento corretos, podem em algumas situações tornar-se compensatórios.

2.2.3.3.1 Regime de Produção Distribuída

Para simplificar o antigo regime de Mini e Microprodução fotovoltaica foi criado um novo regulamento, de modo a garantir que as novas instalações de produção sejam dimensionadas para fazer face às necessidades de consumo verificadas no local e assim evitar o sobredimensionamento das centrais, acabando deste modo com as anteriores tarifas bonificadas. No novo regime de produção distribuída enquadram-se as UPAC e as UPP.

Uma UPAC permite a um produtor produzir localmente a sua própria energia, cabendo a este decidir se quer ou não injetar o excedente produtivo na RESP. Se este não quiser irá necessitar de um aparelho que limite a injeção de potência. No entanto a UPAC nunca poderá produzir anualmente mais do que aquilo que é consumido anualmente no edifício, sendo que se o fizer, a injeção de energia na rede pública não será renumerada [46].



Figura 2.36 - Exemplo de uma UPAC que injeta energia na rede. Fonte: [47].

Neste tipo de unidade de produção o objetivo passa por satisfazer ao máximo as necessidades de consumo de um determinado local. É provável que em certas ocasiões ocorra um excedente produtivo, pois o consumo não é homogêneo durante todo o dia e o próprio recurso solar é variável, isto é, atinge o pico a meio dia, quando muitas famílias não se encontram em casa a consumir eletricidade. No entanto estes sistemas têm a possibilidade de vender o excedente à rede pública recebendo 90% do valor da eletricidade transacionado no mercado, sendo que remuneração da energia elétrica fornecida à RESP pelo produtor é calculada de acordo com a seguinte expressão [46]:

$$R_{UPAC,m} = E_{fornecida,m} \times OMIE_m \times 0,9 \text{ [euros]}$$

Equação 2.4 - Cálculo que resulta da venda de energia elétrica à rede pelo produtor.

As principais características deste tipo de sistemas são [48]:

- Uma UPAC produz preferencialmente para satisfazer necessidades de consumo. Ou seja, o seu dimensionamento deve ser feito de forma a aproximar a eletricidade produzida com a energia consumida. Venda do excedente instantâneo ao CUR.
- A energia elétrica produzida é instantaneamente injetada na instalação de consumo.
- O excedente produzido é injetado na RESP, evitando o desperdício.
- A UPAC é instalada no local de consumo.
- A potência de ligação da UPAC tem de ser inferior à potência contratada na instalação de consumo.

Por último, realça-se ainda que estes sistemas podem estar ligados a baterias, tornando-se mais autónomos, permitindo assim que se acumule a energia produzida em baterias invés de injetar automaticamente na rede, deste modo podem-se fazer poupanças significativas uma vês que o preço de compra da energia é maior que o preço de venda.

As UPP são unidades de produção com potência de ligação igual ou inferior a 250kW. Estes sistemas injetam a partir de energias renováveis, a totalidade de energia produzida na RESP, baseada numa única tecnologia de produção.

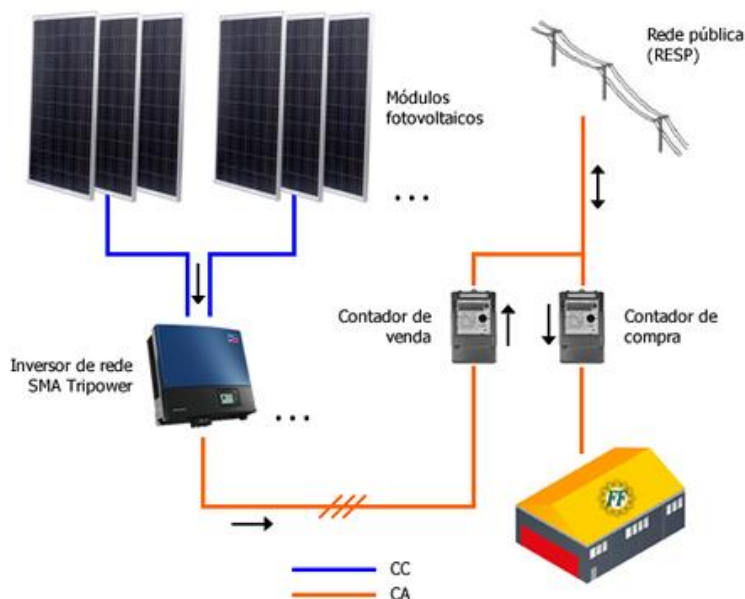


Figura 2.37 - Exemplo de uma UPP. Fonte: [49].

Neste caso, não é utilizada a energia elétrica produzida para consumo local, sendo a totalidade injetada na rede, aproximando assim este sistema a um modelo de negócio. Deste modo o investidor adquire e instala os painéis solares e receberá ao longo dos anos uma tarifa pré-definida pela energia vendida à rede, e será esse valor que ditará a sua rentabilidade ou não. Para 2015 a tarifa de referência para energia produzida através de fonte solar é 95 €/MWh [50].

As principais características deste tipo de sistemas são [47,48]:

- A UPP injeta a totalidade da energia produzida na RESP.
- A Instalação de consumo associada recebe toda a eletricidade proveniente do respetivo comercializador.
- A UPP é instalada no local de consumo.
- A Potência de ligação da UPP tem de ser inferior à potência contratada na instalação de consumo e nunca superior a 250kW.
- Anualmente a energia produzida pela UPP não pode exceder o dobro da eletricidade consumida na instalação de consumo.
- Energia consumida na instalação de consumo deve ser igual ou superior a 50% da energia produzida. Venda da totalidade da energia ao CUR.

2.2.3.3.2 Sombreamento e distância entre fileiras de coletores e painéis

A projeção de sombras sobre os coletores ou painéis de um sistema solar prejudica imenso o seu rendimento podendo em alguns casos tornar mesmo o projeto inviável. Assim, torna-se fundamental proceder a um estudo do local onde se insere o sistema de modo a perceber que tipo de sombreamento existe (edifícios próximos, chaminés, árvores, etc), sem esquecer que o próprio sistema também produz sombras no caso de ter várias fileiras de coletores.

No caso de existência de várias fileiras de coletores ou painéis deve então garantir-se que não projetam sombra uns nos outros. Deste modo tem de se respeitar uma distância entre fileiras tendo em conta os seguintes parâmetros:

- L – Comprimento do coletor ou painel
- d – Distância entre coletores ou painéis
- α – inclinação do coletor ou painel

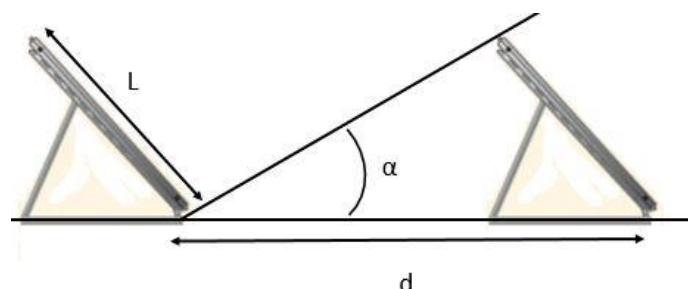


Figura 2.38 - Parâmetros a ter em conta no dimensionamento de uma fileira de coletores solares térmicos ou painéis solares fotovoltaicos.

As figuras seguintes indicam qual é a distância mínima entre fileiras de coletores ($L=2$ m) a instalar numa cobertura em terraço para diferentes inclinações ideais (Verão, Inverno ou todo o ano). Se os coletores tiverem até 2 m e respeitarem os valores que se apresentam em baixo não haverá problemas em relação ao sombreamento que o sistema pode produzir sobre si.

Período de Maior Consumo	INCLINAÇÃO IDEAL		
	Todo o ano	Semestre de Verão	Semestre de Inverno
Localização Geográfica (Latitude)	Latitude - 5°	Latitude - 15°	Latitude + 15°
Bragança (41,84° N)	37°	27°	57°
Lisboa (39,06° N)	34°	24°	54°
Faro (37,47° N)	32°	22°	52°

Figura 2.39 - Inclinações ideais para diferentes localizações e estações do ano. Fonte: [51].

d - distância mínima entre fileiras (m)			
Período de utilização da instalação solar			
Localização (Latitude)	Todo o ano	Semestre de Verão	Semestre de Inverno
Bragança (41,84° N)	4,2	2,6	4,7
Lisboa (39,06° N)	3,8	2,5	4,3
Faro (37,47° N)	3,6	2,4	4,1

Figura 2.40 - Distância mínima entre fileiras para diferentes localizações e estações do ano. Fonte: [51].

Para a zona de Lisboa verifica-se que a distância entre fileiras varia entre os 2,5 m e os 4,3 m (quando os painéis se encontram a 24° e 54°, respetivamente), sendo que se se pretender otimizar o sistema para todo o ano, o valor mínimo a usar será 3,8 m entre painéis para uma inclinação de 34°.

Este estudo tanto se pode aplicar a coletores solares térmicos como a módulos fotovoltaicos.

2.2.3.4 Bomba de calor

As bombas de calor transferem o calor de um ambiente para outro, através de um fluido que funciona em circuito fechado, sendo reconhecidas como tecnologia renovável. Estes dispositivos tanto podem aquecer um espaço como arrefecê-lo. No modo de arrefecimento, estas bombas transferem o calor de um espaço interior para o exterior, arrefecendo a área interior. Se se pretender aquecer um espaço, estas conseguem extrair o calor do ar exterior (mesmo com temperaturas negativas) transferindo-o para o interior. Em suma, estes equipamentos permitem a movimentação de calor de forma eficiente em sentido contrário ao natural, transferindo o calor de uma fonte fria para uma fonte quente [52].

As bombas de calor têm normalmente altos valores de COP e de ERR. Estes estão associados, respetivamente, ao aquecimento e arrefecimento de um espaço. O COP expressa a razão entre a potência calorífica (Q_c) e a potência elétrica consumida (W_c), enquanto o ERR expressa a potência frigorífica (Q_f) e a potência elétrica consumida (W_c). Estes coeficientes definem-se por:

$$COP = \frac{Q_c}{W_c}$$

Equação 2.5 - Quantificação do COP.

$$ERR = \frac{Q_f}{W_c}$$

Equação 2.6 - Quantificação do ERR.

Um valor alto nestes coeficientes significa que por cada unidade de energia elétrica que a bomba consome são transferidas várias vezes esse valor em energia térmica. Na figura seguinte vê-se um exemplo do aproveitamento que um sistema deste tipo pode fazer.

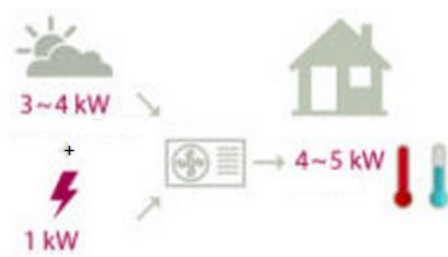


Figura 2.41 - Aproveitamento Bomba de Calor. Fonte: [52].

Neste caso, por cada kW de energia elétrica consumida, este equipamento deverá ser capaz de produzir, pelo menos 4 kW de potência térmica.

O rendimento das bombas de calor aumenta com a diminuição da diferença de temperatura entre a fonte fria e o fluido quente. A figura seguinte mostra esse facto para uma bomba água-água:

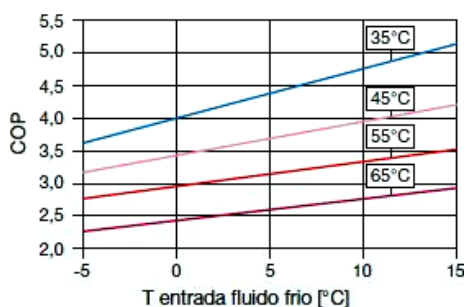


Figura 2.42 -Relação entre o COP e temperatura de entrada do fluido frio para diferentes temperaturas de fluido quente numa bomba de calor água-água. Fonte: [53].

Esta tecnologia torna-se assim bastante interessante para a climatização de espaços, nomeadamente quando se integra com outras tecnologias renováveis como o piso radiante, pois as temperaturas requeridas são relativamente baixas e assim é possível obter grandes poupanças energéticas.

Outra grande vantagem que existe (relacionada com o estudo que se irá fazer) é o facto dos edifícios eficientes terem baixos consumos energéticos, assim as bombas escolhidas para estas habitações não necessitam de ter potências elevadas, possibilitando assim a hipótese de se adquirirem bombas de gama mais baixa, diminuindo assim o custo inerente à compra da bomba sem por em causa a satisfação das necessidades do edifício. Realça-se ainda que a nível de potência, deverá existir uma evolução nas bombas diminuindo ainda mais as potências mínimas de funcionamento, deste modo o preço poderá baixar, e do ponto de vista de edifícios NZEB os requisitos energéticos serão cumpridos.

As bombas de calor são normalmente divididas quanto à fonte que usam para fazer a permuta de calor. Na figura abaixo são ilustradas as três fontes diferentes que podem ser usadas em moradias: o ar, a água e o solo.

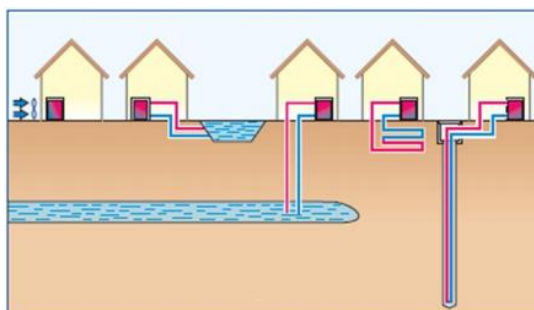


Figura 2.43 - Fontes utilizadas para permuta de calor. Fonte: [53].

A fonte de calor mais estável é o solo. Em muitas zonas é mesmo possível que a temperatura deste, a alguns metros de profundidade, não varie ao longo do ano. O solo acumula não só energia solar como geotérmica. A primeira encontra-se a baixa profundidade, a segunda encontra-se nas zonas mais profundas sendo desse modo mais cara [53].

A água é também uma fonte de calor com elevado potencial. No entanto, em climas mais frios, é necessário ter o cuidado de assegurar que esta não corre o risco de congelar [30].

O ar ambiente é, em climas moderados, uma fonte de calor suficiente. Tem como vantagem, face aos outros dois meios, custos de instalação muito inferiores, pelo que é a fonte de calor mais utilizada na tecnologia das bombas de calor. Como fonte de calor pode ser usado o ar externo, que está sempre disponível e não precisa de meios dispendiosos para a sua utilização nem autorizações especiais. Todavia com temperaturas baixas o rendimento das bombas baixa significativamente, podendo ser necessário adotar sistemas integrativos de calor. Pode ainda ser usado o ar interior dos edifícios para comutação, no entanto encontra-se disponível em quantidades limitadas tornando-se pouco viável na maioria dos casos [53].

3 Criação de um modelo simples de moradia unifamiliar

Nesta fase, após estarem explicadas grande parte das características pretendidas e necessárias à construção de um NZEB é necessário dimensionar um edifício que não só possua essas características como também proporcione conforto a quem nele habita, nunca esquecendo que tem de ser energeticamente eficiente.

Numa primeira parte irá ser dimensionado o edifício que depois irá ser estudado através de um *software* que realiza o seu balanço energético e onde são contabilizadas três tipos de cargas térmicas fundamentais:

- Internas – Geradas pelos equipamentos, taxa de ocupação e pela iluminação;
- Externas – Que geram trocas através da envolvente e estão associadas ao clima, temperatura, radiação, vento e humidade;
- Infiltrações e ar novo – Resultam da infiltração do ar e das necessidades de renovação do mesmo.

Estas cargas térmicas, interagem entre si levando a variações de temperatura, humidade e qualidade de ar que podem ser significativas trazendo desconforto para os habitantes. Estas cargas resultam da transmissão de calor, que é feita de 3 modos diferentes:

- Radiação – Transporte de energia através de ondas eletromagnéticas;
- Condução – Transporte de energia através de um meio sólido, líquido ou gasoso sem movimento de massa;
- Convecção – Transporte de energia envolvendo movimento de massa de fluido por diferença de densidade ou por ação mecânica externa.

O cálculo das cargas pode ser feito através de diversos *softwares*, sendo que os utilizados no âmbito deste trabalho serão apresentados de seguida.

3.1 Software utilizado

De modo a realizar a modelação do edifício e a simulação energética do mesmo foi necessário recorrer ao *software DesignBuilder e Energyplus*, respetivamente.

O *DesignBuilder* permite modelar e desenvolver projetos de edifícios novos ou existentes e introdução de dados a utilizar nas simulações. Este programa possui uma plataforma de modelação de edifícios em 3D de fácil manipulação, não existindo limitações de geometrias tridimensionais.

Os dados podem ser inseridos através de vários separadores:

- *Activity* – Refere-se ao tipo de dados usados em determinada zona, como por exemplo: taxa de ocupação, consumos de água quente sanitária, temperatura ambiente pretendida, renovação de ar, quantidade mínima de ar fresco, densidade de iluminação, entre outros;
- *Construction* – Todos os dados relacionados com o tipo de construção, material utilizado e permeabilidade do edifício ao ar;
- *Openings* – Dados referentes a aberturas no edifício: portas, janelas, tipo de vidro, etc;
- *Gains* – Ganhos internos do edifício:

- *HVAC* – Dados referentes aos equipamentos de climatização, águas quentes sanitárias e ventilação natural.
- *Generation* – Energia elétrica produzida no edifício:
- *Options* – Aqui são geridas as opções que existem de apresentação de resultados tanto para o aquecimento e arrefecimento como para as simulações:
- *CFD* – Tem como função a inserção de dados para cálculo de temperaturas, velocidades e outras propriedades dos fluidos num domínio 3D.

Já a simulação e análise energética com base no método de simulação dinâmica multizona deve ser realizada por um programa acreditado pela norma ASHRAE 140, de acordo com a Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de Dezembro.

Programas	Organizações Responsáveis
Blast	CERL - U.S.Army Construction Engineering Research Laboratories, USA
DOE-2	LANL - Los Alamos National Laboratory, USA LBNL - Lawrence Berkeley National Laboratory, USA James J. Hirsch & Associates, USA
ESP	Strathclyde University, GB
SRES/SUN	NREL - National Renewable Energy Laboratory, USA Ecotope, USA
SRES/BRE	NREL - National Renewable Energy Laboratory, USA BRE - Building Research Establishment, GB
S3PAS	Universidade de Sevilha, Espanha
TASE	Tampere University, Finlândia
TRANSYS	University of Wisconsin, USA
TRANSYS/TUD	University of Wisconsin, USA Technische Universität Dresden, Alemanha
CA-SIS	Electricité de France, França
CLIM2000	Electricité de France, França
ENERGYPLUS	LBNL - Lawrence Berkeley National Laboratory, USA UIUC - University of Illinois Urbana/ Champaign, USA CERL - U.S.Army Construction Engineering Research Laboratories, USA OSU-Oklahoma State University, USA GARD Analytics, USA FSEC - University of Central Florida, Florida Solar EnergyCenter, USA DOE-OBT Department of Energy, Office of Building Technology, USA

Figura 3.1 - Programas acreditados pela norma ASHRAE 140-2004. Fonte: [54].

De acordo com a legislação em vigor o programa além de ser acreditado pela norma ASHRAE 140 deve ter ainda capacidade para modelar:

- Mais que uma zona térmica;
- Incremento de tempo horário e por um período de um ano civil, contabilizado em 8760 horas;
- Variação horária das cargas térmicas;
- Os pontos de ajuste dos termostatos das zonas térmicas e a operação dos sistemas de climatização permitindo a respetiva parametrização, de forma independente, para dias da semana e fins-de-semana;
- O efeito da massa térmica do edifício.

O *EnergyPlus* reúne todos estes requisitos permitindo assim fazer as simulações energéticas do edifício modulado.

3.2 Dados utilizados e dimensionamento do edifício

3.2.1 Considerações feitas

Como se teve de criar um modelo completamente novo tiveram que se fazer algumas considerações, tais como:

- Edifício de habitação é constituído por dois andares com cobertura plana e as fachadas encontram-se dispostas do seguinte modo;

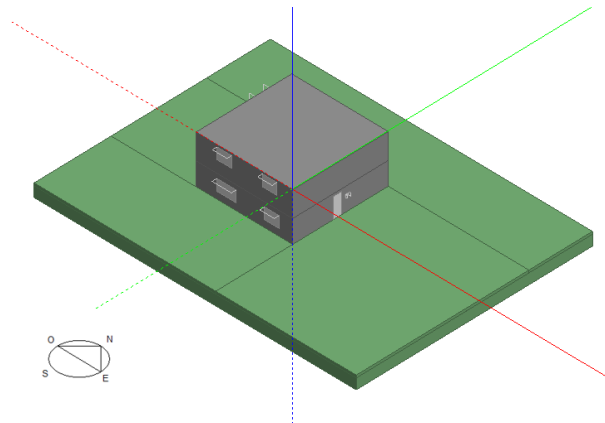


Figura 3.2 - Modelo de habitação.

- O comprimento e largura da moradia medidos pelo exterior são 10 m em ambos os casos;
- O pé direito de cada andar medido pelo interior é 2,40 m;
- Edifício não tem cave;
- No piso 0 localiza-se a sala, *hall* de entrada, escritório, cozinha, corredor, dispensa, arrumação, casa de banho e uma zona destinada a fazer ligação entre piso 0 e piso 1, designada por escadaria.

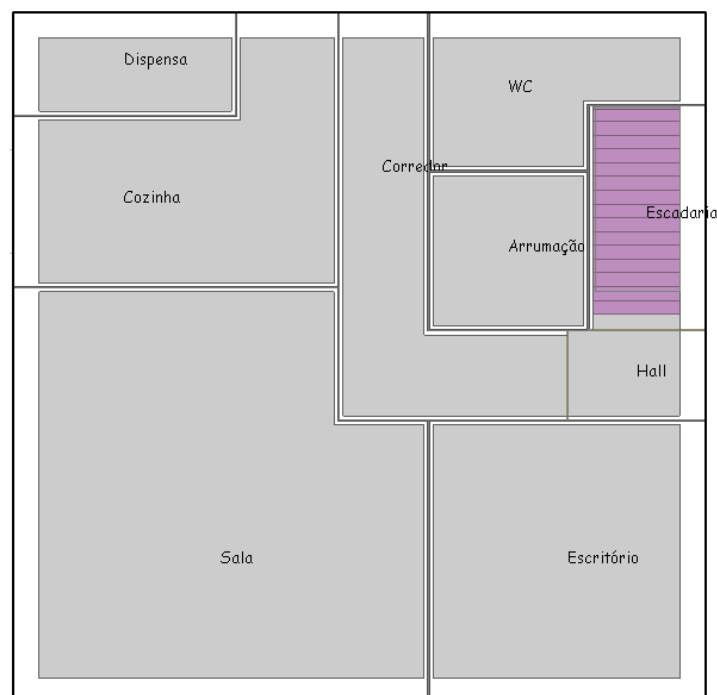


Figura 3.3 - Planta piso 0.

- No piso 1 localiza-se a casa das máquinas, três quartos, casa de banho, corredor, e uma zona que faz ligação entre os dois pisos.

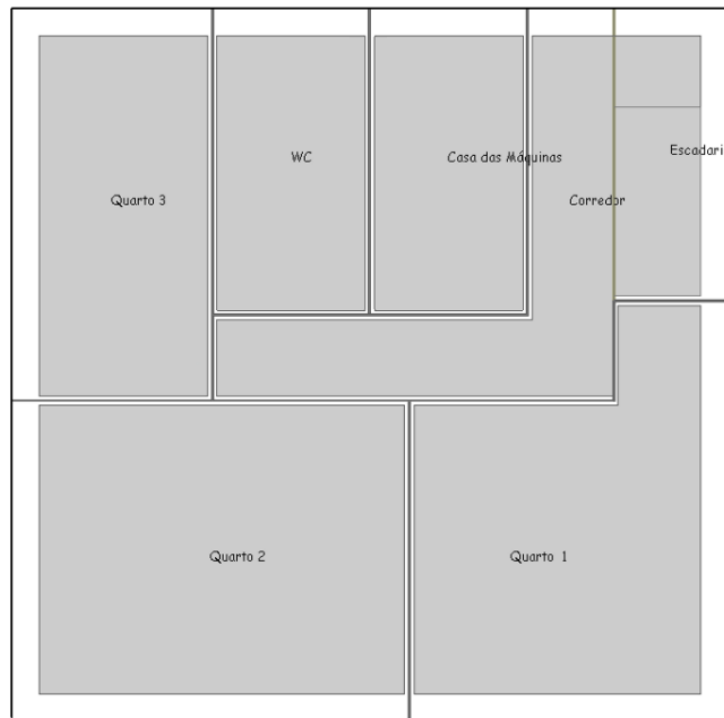


Figura 3.4 - Planta piso 1

- Os módulos e coletores necessários para integração de energias renováveis têm de estar localizados na cobertura do edifício.
- O edifício não se encontra em contacto com nenhum outro.

3.2.2 Localização

Considerou-se que o edifício em estudo se localiza em Lisboa, mais concretamente na zona da Portela.

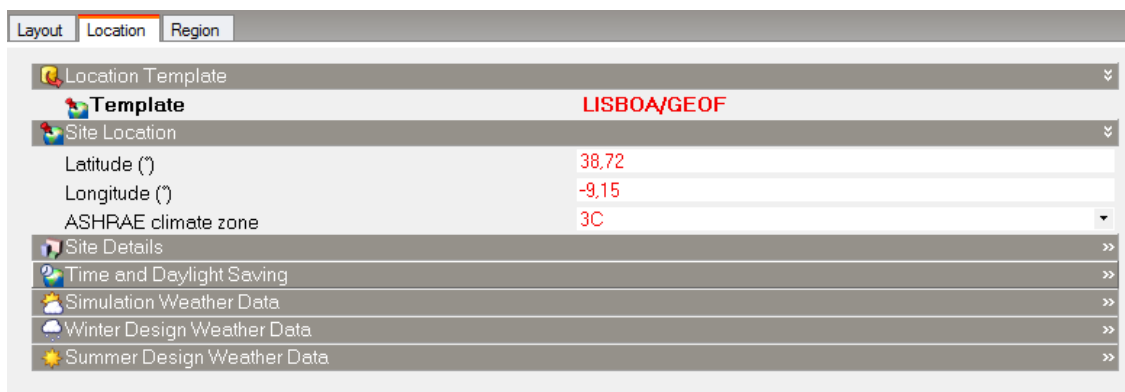


Figura 3.5 - Localização do edifício.

Os dados climáticos utilizados encontram-se num ficheiro de dados climatéricos disponibilizado pelo INETI, que pode ser selecionados e utilizados posteriormente na simulação dinâmica.

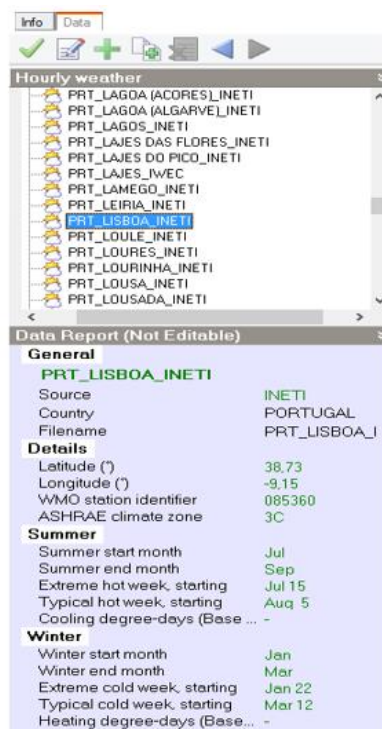


Figura 3.6 -Dados climáticos a utilizar para simulação do balanço energético, INETI.

3.2.3 Forma e orientação

Como já foi dito e justificado no capítulo 2, as diferentes zonas não devem ser dimensionadas ao acaso, deste modo optou-se por localizar no lado norte da casa as casas de banho, a dispensa, a zona da escadaria, parte do corredor do piso 1 e a casa das máquinas pois são zonas que não necessitam de grandes aberturas para o exterior, reduzindo assim as perdas energéticas que ocorrem no Inverno através dos envidraçados (figura 3.3 e 3.4).

As restantes zonas foram dimensionadas de acordo com as necessidades de iluminação, energéticas e restrições a nível de espaço.

Em relação à iluminação e às necessidades energéticas preferiu-se localizar as zonas que têm maiores necessidades no corpo Sul do edifício (quartos, sala e escritório) de modo a fazer um maior aproveitamento da iluminação natural e a maximizar os ganhos energéticos durante o Inverno e assim conseguir reduzir os gastos energéticos. Como também já foi referido, as janelas a sul têm o benefício de permitir obter maiores ganhos de Inverno como também são mais fáceis de proteger da radiação no Verão, logo, este facto foi tido em conta.

No entanto, devido a restrições a nível de espaço um dos quartos tem de estar localizado junto à fachada oeste.

3.2.4 Envolvente

De acordo com o decreto-lei n.º118/2013 os valores máximos para coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados, U_{ref} , em Portugal continental, para edifícios novos são os que se apresentam na seguinte figura

(valores para a zona de Lisboa dentro dos retângulos a preto). Os valores a respeitar dependem do coeficiente de redução de perdas b_{tr} , que traduz a redução da transmissão de calor.

U_{ref} [W/(m².°C)]		Zona Climática					
Portugal Continental							
Zona corrente da envolvente:		Com a entrada em vigor do presente regulamento			31 de dezembro de 2015		
		I1	I2	I3	I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas, $b_{tr} > 0.7$	Elementos opacos verticais	0,50	0,40	0,35	0,40	0,35	0,30
	Elementos opacos horizontais	0,40	0,35	0,30	0,35	0,30	0,25
em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas, $b_{tr} \leq 0.7$	Elementos opacos verticais	1,00	0,80	0,70	0,80	0,70	0,60
	Elementos opacos horizontais	0,80	0,70	0,60	0,70	0,60	0,50
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,90	2,60	2,40	2,80	2,40	2,20

Nota: Os requisitos de referência indicados na presente tabela, poderão ser progressivamente atualizados até 2020, por forma a incorporar estudos referentes ao custo-benefício dos mesmos, bem como aos níveis definidos para os edifícios de necessidade de energia quase-nulas.

Figura 3.7 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados, U_{ref} [W/m².°C]. Fonte: [8].

Verifica-se que a partir de 2016 os requisitos serão alterados (lado direito tabela), requisitos esses que poderão ainda vir a sofrer alterações ao longo dos próximos anos de modo a convergirem para valores mais próximos de um NZEB, existindo atualmente edifícios que vão mais além que estes valores.

Ao fazer a pesquisa sobre quais os valores que a envolvente deveria apresentar numa casa eficiente encontrou-se o conceito de *Passivhaus*. Este tipo de edifícios começou a ser desenvolvido a partir de fins dos anos 80 no PHI na Alemanha e tem ganho adeptos por toda a Europa, contando com mais de 32000 edifícios deste género [55].

O conceito de *Passivhaus* tem como base um excelente isolamento térmico, um sistema de ventilação que fornece ar novo constante e um sistema de recuperação de calor de elevada eficiência que permite reutilizar o calor do ar poluído. As poupanças energéticas neste tipo de edifícios podem alcançar os 90% em relação a edifícios típicos da Europa central e 75% em relação a edifícios que se estão a construir atualmente [55]. Este conceito pode ser utilizado como critério de referência para um NZEB [56].

A energia máxima utilizada, nestes edifícios, para aquecimento e arrefecimento de espaços é de 15 kWh/m².ano. Já o somatório da energia total utilizada para aquecimento ambiente, aquecimento de águas quentes sanitárias, arrefecimento e gastos elétricos não podem ultrapassar os 120 kWh/m².ano [57].

Já foram criados em Portugal edifícios com telhados e paredes com coeficientes de transmissão térmica de 0.23 W/m².K e 0.32 W/m².K, respetivamente. Estes valores não são obrigatórios para um NZEB, no entanto podem ser usados como referência, uma vez que estão mais próximos do que é pretendido e vão de encontro ao conceito real de um edifício com necessidades quase nulas de energia [3].

3.2.4.1 Paredes exteriores

Decidiu-se isolar as paredes com isolamento pelo exterior de modo a aproveitar o efeito da inércia térmica e eliminar ao máximo as pontes térmicas do edifício.

A constituição da parede exterior foi escolhida recorrendo à base de dados de *Walls* do *DesignBuilder* que permite utilizar paredes que já estão dimensionadas no programa, sendo que se podem fazer as alterações que se pretenderem tanto a nível de materiais, como nas suas espessuras.

Assim, a espessura de isolamento foi alterada de modo a que o coeficiente de transmissão térmica total da parede fosse igual a $0,32 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Assim, teve de se alterar o coeficiente que inicialmente era de $0,35 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ para a parede escolhida, resultando numa espessura de isolamento de 7,8 cm em vez dos iniciais 6,9 cm. Estes valores de espessura de isolamento não se encontram disponíveis no mercado porque estes materiais são fabricados em lotes com espessuras fixas, no entanto, para efeitos de simulação foram estes os valores usados de modo a usar os coeficientes de transmissão térmica escolhidos.

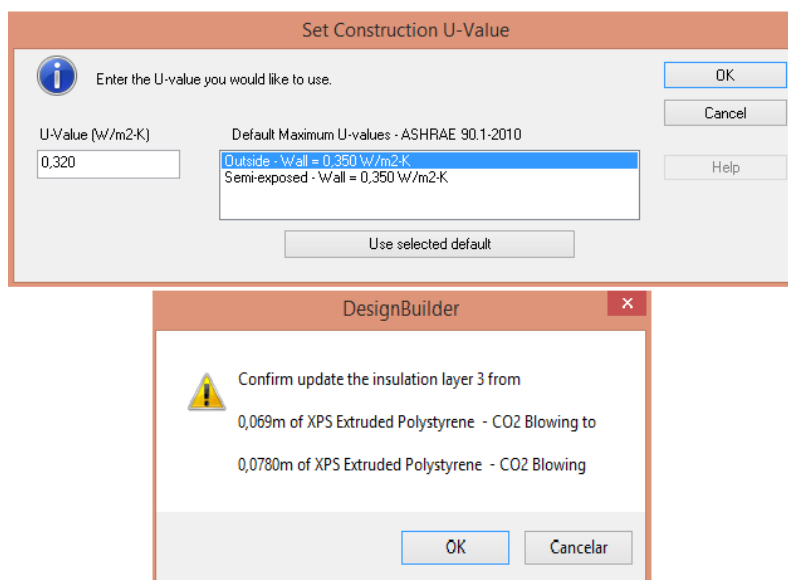


Figura 3.8 - Dimensionamento do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior.

A parede tem uma espessura de 0,378 m e é constituída do interior para o exterior do seguinte modo:

- Acabamento interior composto por gesso;
- Tijolo;
- Isolamento de poliestireno extrudido;
- Argamassa;
- Acabamento exterior composto por gesso.



Figura 3.9 - Constituição das paredes exteriores.

3.2.4.2 Cobertura

Tal como no caso das paredes exteriores, decidiu aproveitar-se o efeito da inércia térmica e eliminar ao máximo as pontes térmicas do edifício, optando assim por isolar a cobertura do edifício pelo exterior.

A cobertura escolhida tem uma espessura de 0,272 m e é constituída do interior para o exterior do seguinte modo:

- Acabamento interior em gesso;
- Camada de betão;
- Isolamento de poliestireno extrudido;
- Fibra de madeira;
- Asfalto.

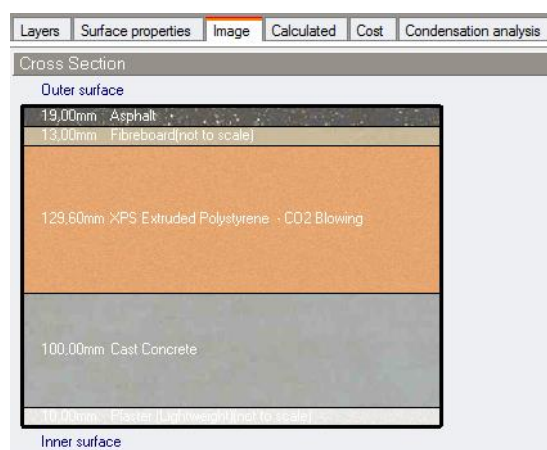


Figura 3.10 - Constituição da cobertura.

A espessura do isolamento foi dimensionada de forma análoga às paredes tendo como objetivo utilizar os valores já alcançados com base no conceito do *Passivhaus* ($0,23 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$), resultando numa espessura de isolamento de 12,9 cm. Mais uma vez verifica-se que estes valores de espessura de isolamento não se encontram disponíveis no mercado, no entanto, para efeitos de simulação foram estes os valores usados pela razão já explicada no subcapítulo relativo às paredes exteriores.

3.2.4.3 Pavimento

Em relação ao pavimento, foram feitos dois dimensionamentos diferentes: piso em contacto com o exterior e a estrutura do piso do primeiro andar.

No primeiro caso optou-se por usar duas camadas de isolamento. A primeira camada é constituída por XPS e localiza-se entre o solo exterior e a plataforma de betão. O XPS tem uma alta resistência e permite assim reduzir a transmissão de calor entre solo e a casa e vice-versa.

Como se decidiu que a melhor opção para realizar aquecimento ambiente seria a utilização de piso radiante, teve de se colocar uma segunda camada de isolante, neste caso placas de poliuretano de modo a que o calor seja transmitido para dentro do edifício e não o contrário.

Foi ainda escolhida uma camada de argamassa com alta condutividade térmica para permitir que o calor se propague mais facilmente para o interior e é nessa camada que se localizam os tubos de água do piso radiante. Por último a camada interior é constituída por mosaico de cerâmica, sendo que no total a estrutura tem uma espessura de 0,360 m e um coeficiente de transmissão térmica de 0,225 W/m².K.



Figura 3.11 - Constituição da estrutura em contacto com o solo exterior.

Quanto à estrutura que separa o rés-do-chão do primeiro andar, ela é constituída do seguinte modo, do piso 0 para o piso 1:

- Acabamento no teto do piso 0 em gesso;
- Plataforma de betão;
- Isolamento XPS;
- Argamassa;
- Mosaico de cerâmica.



Figura 3.12 - Estrutura entre piso 0 e piso 1.

Mais uma vez, devido à utilização do piso radiante, teve de se colocar uma camada de isolamento por cima da plataforma de betão de modo a não haver fugas de calor para o piso 0 e a camada de argamassa de alta condutividade térmica. A constituição é assim idêntica à do piso 0, tendo apenas sido reduzidas as espessuras da camada de betão e isolamento, pois esta estrutura encontra-se no interior do edifício não estando sujeita à influência de fatores externos. Finalizando, no total a estrutura tem uma espessura de 0,270 m e um coeficiente de transmissão térmica de 0,441 W/m².K.

3.2.4.4 Vãos envidraçados

Atualmente já existem edifícios que utilizam janelas com vidro triplo. No entanto, optou-se por utilizar neste estudo vidros duplos de boa qualidade. Recorrendo à base de dados do *DesignBuilder* que tem como fonte ASHRAE 90.1-2010, escolheu-se uma janela que tivesse uma camada de gás composta por argon.

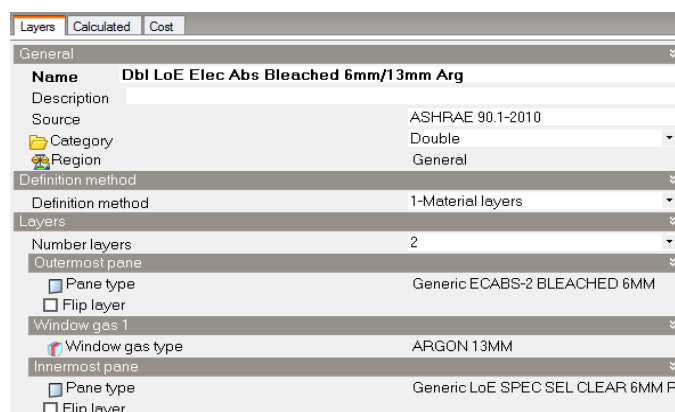


Figura 3.13 - Constituição das janelas utilizadas.

Devido à reduzida espessura dos materiais, os vãos envidraçados apresentam sempre maiores valores de coeficiente de transmissão do que os restantes elementos da envolvente. Neste caso a camada exterior e interior é composta por dois vidros de 6 mm cada, que em conjunto com o argon formam um coeficiente de transmissão térmica de 1,323 W/m².K. De

realçar ainda que a caixilharia usada é constituída por PVC, a janela tem duas divisões (uma na vertical e outra na horizontal) e localiza-se a meio da janela (figura 3.14 e 3.15).



Figura 3.14 - Características janelas.

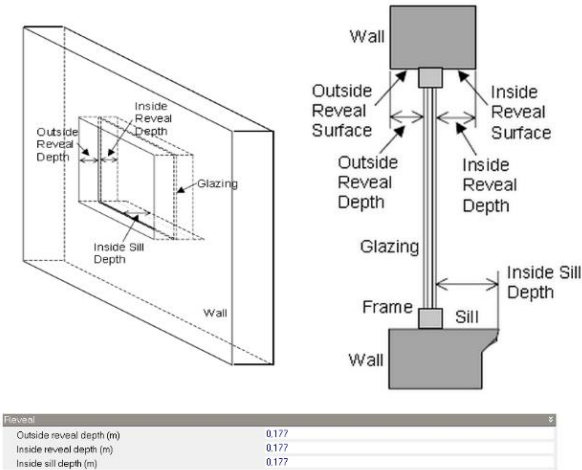


Figura 3.15 - Localização das janelas.

Sabe-se que o maior valor de coeficiente de transmissão térmica que os vãos envidraçados podem tomar a partir de 31 de Dezembro de 2015 será de 2,80 W/m².K, logo estas janelas podem ser utilizadas sem qualquer restrição.

As áreas das janelas usadas são as seguintes:

Tabela 3.1 - Área das janelas usadas.

	Localização	Fachada	Área (m²)
Piso 0	WC	Norte	0,36
	Escritório	Sul	1,8
	Sala	Sul	2,4
	Escadaria	Este	0,12
	Cozinha	Oeste	1,5
Piso 1	Escadaria	Norte	0,5
	Casa das máquinas	Norte	1,79
	WC	Norte	0,36
	Quarto 1	Sul	1,79
	Quarto 2	Sul	1,8
	Quarto 3	Oeste	1,8

Quanto à porta que liga a casa ao exterior, que também faz parte dos vãos, é constituída por duas camadas de aço que têm entre si um isolante, designado por corte térmico,

apresentando um coeficiente global de $0,663 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, uma espessura de 8 cm e uma área de $1,978 \text{ m}^2$ que resulta de uma altura de 2,15 m e uma largura de 0,92 m.

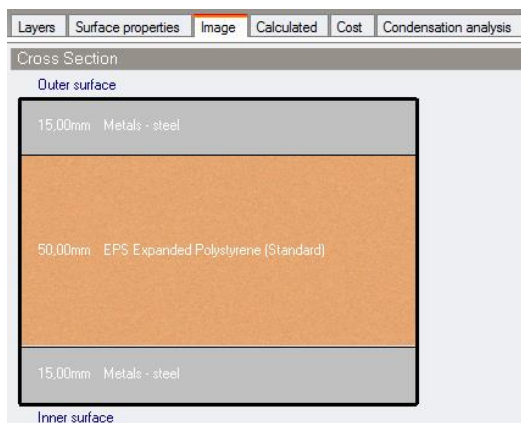


Figura 3.16 - Constituição da porta utilizada.

3.2.5 Sombreamento

Foram utilizados neste edifício, dois tipos diferentes de sombreamento pelo exterior: palas e portadas.

As palas foram colocadas na fachada Sul, de modo a prevenir a entrada de radiação no Verão, quando o sol se encontra mais alto e aumentar a entrada de radiação no Inverno, quando o sol se encontra mais baixo.

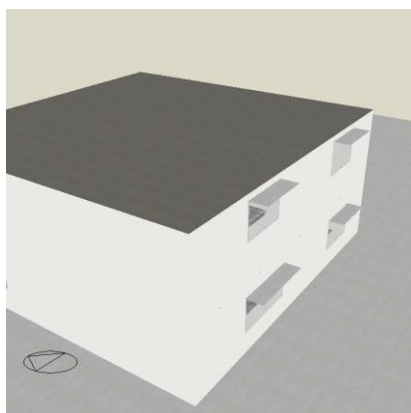


Figura 3.17 - Palas colocadas na fachada Sul.

Uma das formas de dimensionar este tipo de dispositivos é exemplificada na figura seguinte:

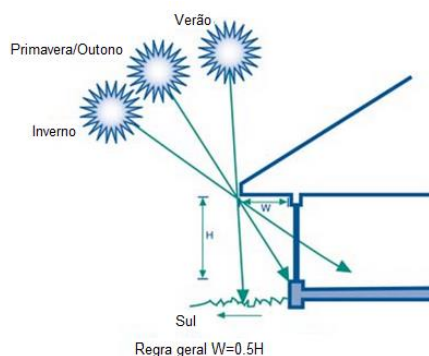


Figura 3.18 - Exemplo de dimensionamento de coberturas para fachada Sul. Fonte: [58] adaptado.

Em que H é a altura desde a base da janela até ao local onde se pretende colocar a cobertura e W o comprimento da mesma.

Na fachada Sul todas as janelas têm 1,2 m de altura e pretende-se colocar os dispositivos de sombreamento 0,25 m acima da janela, logo $H=1,45$. Deste modo o comprimento W deverá ser 0,725 m.

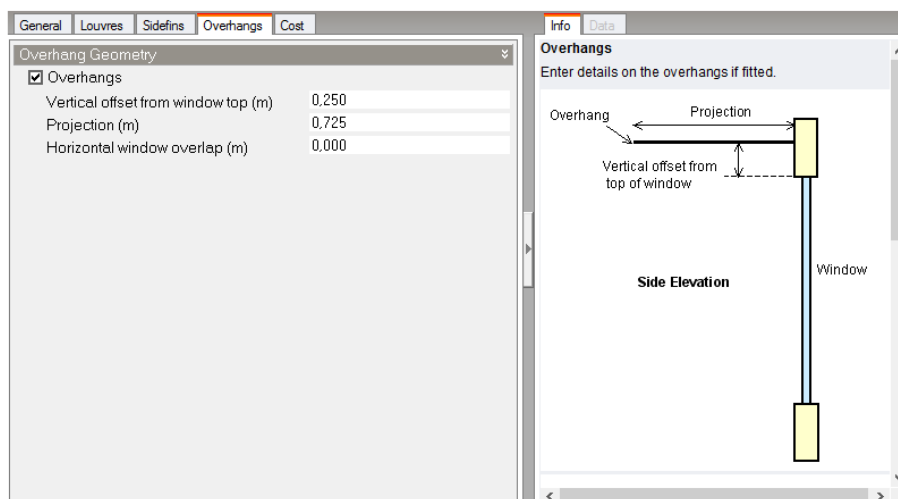


Figura 3.19 - Dimensionamento dos dispositivos de sombreamento para a fachada Sul.

Devido a existirem algumas janelas nas fachadas Oeste e Este, foi decidido que se deveria colocar dispositivos de sombreamento verticais nessas fachadas de modo a prevenir o sobreaquecimento no verão. A ideia aqui foi tentar aproximar estes dispositivos a portadas já que o programa não tem essa opção.

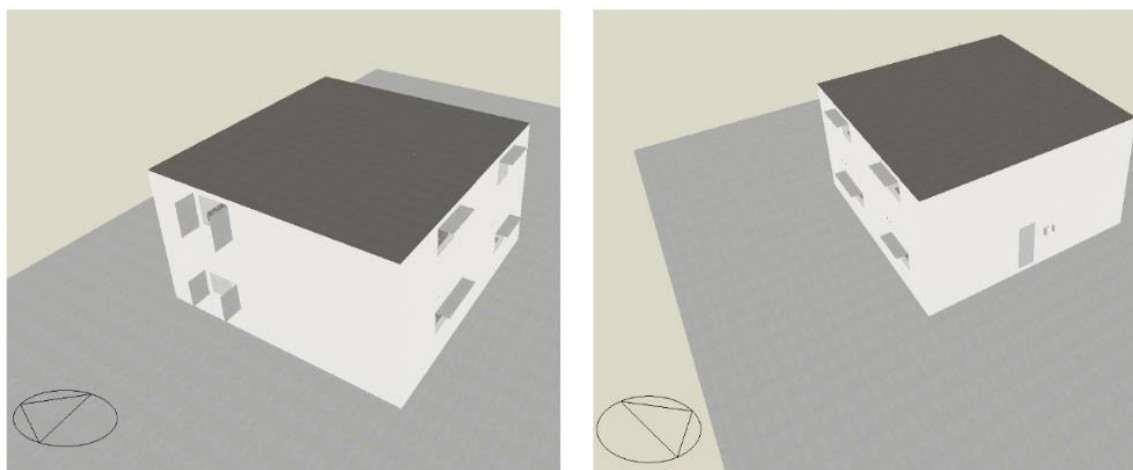


Figura 3.20 - Dispositivos de sombreamento vertical colocados na fachada Oeste (esquerda) e Este (direita).

A altura dos dispositivos é igual à das janelas sendo que o comprimento é metade. Salienta-se ainda que tanto estes dispositivos como os horizontais são considerados pelo programa como 100% opacos, não deixando passar luz quando ativados.

3.2.6 Dados referentes às diferentes zonas do edifício

Uma vez que os parâmetros correspondentes à envolvente se encontram definidos, faz sentido resumir algumas características de cada zona que são consequência do dimensionamento feito.

Antes de mais convém dizer que as paredes interiores do edifício, que separam as várias zonas são constituídas por tijolo, têm acabamento em gesso e uma espessura total de 13,1cm como pode ser verificado na figura seguinte.



Figura 3.21 - Constituição paredes interiores.

Posto isto, temos as seguintes especificidades para o piso 0 e piso 1:

Tabela 3.2 - Área das janelas usadas.

Zonas piso 0	Área m ²	Volume m ³	Zona climatizada
Dispensa	2,93	7,04	Não
Cozinha	11,6	27,84	Sim
Corredor	8,79	21,1	Sim
Arrumação	4,7	11,79	Não
WC	5,28	12,68	Sim
Escadaria	5,24	20,33	Sim
Hall	2	4,81	Sim
Sala	28,49	68,38	Sim
Escritório	13	31,21	Sim

Tabela 3.3 - Dados referentes às zonas do piso 1.

Zonas piso 1	Área m ²	Volume m ³	Zona climatizada
Casa das máquinas	7,98	19,15	Sim
Corredor	10,44	25,05	Sim
WC	7,98	19,15	Sim
Quarto 1	17,87	42,89	Sim
Quarto 2	20,71	49,71	Sim
Quarto 3	11,91	28,6	Sim

Juntando todos os dados obtidos temos:

Tabela 3.3 - Dados relativos a área e volumes totais do edifício.

	Área total m ²	Volume total m ³
Zonas climatizadas	151,35	370,89
Zonas não climatizadas	7,64	18,33
Total	158,94	389,22

3.2.7 Ventilação natural

Optou-se por preferir a ventilação natural em detrimento da mecânica por esta ter como vantagem a utilização de um recurso natural renovável (vento) para contribuir para a renovação de ar a uma taxa adequada.

De acordo com as normas já explicadas no capítulo 2, os requisitos de ventilação natural para as diferentes zonas do edifício são as seguintes:

Tabela 3.4 - Requisitos mínimos de ar novo para o piso 0.

Zonas piso 0	Tipo de compartimento	Volume compartimento m ³	Requisitos de ar novo m ³ /h
Cozinha	Serviço	27,84	120
WC	Serviço	12,68	60
Sala	Principal	68,38	90
Escritório	Principal	31,21	60

Tabela 3.5 - Requisitos mínimos de ar novo piso 1.

Zonas piso 1	Tipo de compartimento	Volume compartimento m ³	Requisitos de ar novo m ³ /h
Quarto 1	Principal	42,89	60
Quarto 2	Principal	49,71	60
Quarto 3	Principal	28,6	30
WC	Serviço	19,15	90

3.2.8 Fontes internas de calor

As fontes internas de calor dão origem a ganhos internos significativos provocando o aumento da temperatura no interior da casa, tendo assim grande impacto no cálculo do balanço energético de uma habitação. Estes ganhos englobam todas as fontes internas de aquecimento como: dissipação de energia por equipamentos, iluminação, ganhos associados ao metabolismo dos ocupantes, não sendo contabilizados os ganhos devidos aos sistemas de aquecimento.

Os ganhos associados ao metabolismo dos ocupantes devem-se à perda de calor que se liberta na realização de diversas atividades como por exemplo: dormir, dançar, comer, etc. Por sua vez, os ganhos devidos à iluminação devem-se à energia que é emitida por condução, convecção ou radiação quando a iluminação se encontra em funcionamento. Por último, os ganhos associados a equipamentos devem-se a eletrodomésticos, computadores e outro tipo de equipamentos que se encontram em funcionamento emitindo energia para o espaço interior.

Para efeitos de cálculo no balanço energético de um edifício de habitação o valor global de ganhos sugeridos é de 4 W/m². Este valor já era sugerido pelo RCCTE tendo sido transposto para o Decreto-lei nº118/2013 e assim utilizado para cálculo das necessidades energéticas de

edifícios atuais. No entanto, ao analisar este valor e conjugando-o com a evolução das tecnologias existentes atuais e na altura, considera-se que este valor deveria ter sido alterado. Não só os equipamentos existentes evoluíram a nível de eficiência energética, como a iluminação é também mais eficiente do que a que existia na altura (ex: Tecnologia LED permite poupanças de 90% em relação à utilização de lâmpadas incandescentes) [26].

Consultando artigos e legislação internacional é possível verificar que este valor sofre alterações. Por exemplo, na Alemanha o valor considerado é de 2,5 W/m² para casas singulares e 3,2 W/m² para edifícios com várias habitações [59].

No âmbito desta dissertação irá ser considerado o valor de 2,5 W/m² por ser o valor que vai de encontro aquilo que é pretendido para um edifício NZEB. Não faz sentido projetar um edifício energeticamente sustentável usando valores que não se aproximam dos requisitos de eficiência pretendidos.

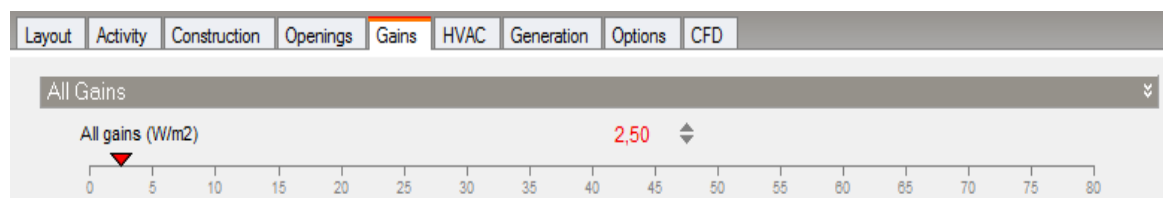


Figura 3.22 -Ganhos internos utilizados na simulação.

Existem três opções diferentes no *DesignBuilder* de introdução de dados relativos aos ganhos internos do edifício: *Lumped*, *Early* e *Detailed*.

Quando é escolhida a opção *Lumped*, todos os ganhos são juntos num único valor. *Early*, significa que os ganhos podem ser definidos separadamente em várias categorias (computadores, equipamento, iluminação, etc). Se for escolhido o *Detailed*, os ganhos são especificados definindo individualmente os itens de cada zona. Tanto o *Early* como o *Detailed* ajustam-se melhor a edifícios já existentes.

No âmbito desta dissertação, foi escolhida a opção *Lumped* devido aos valores de ganhos internos médios usados serem sugeridos e este edifício ser um modelo criado de raiz.

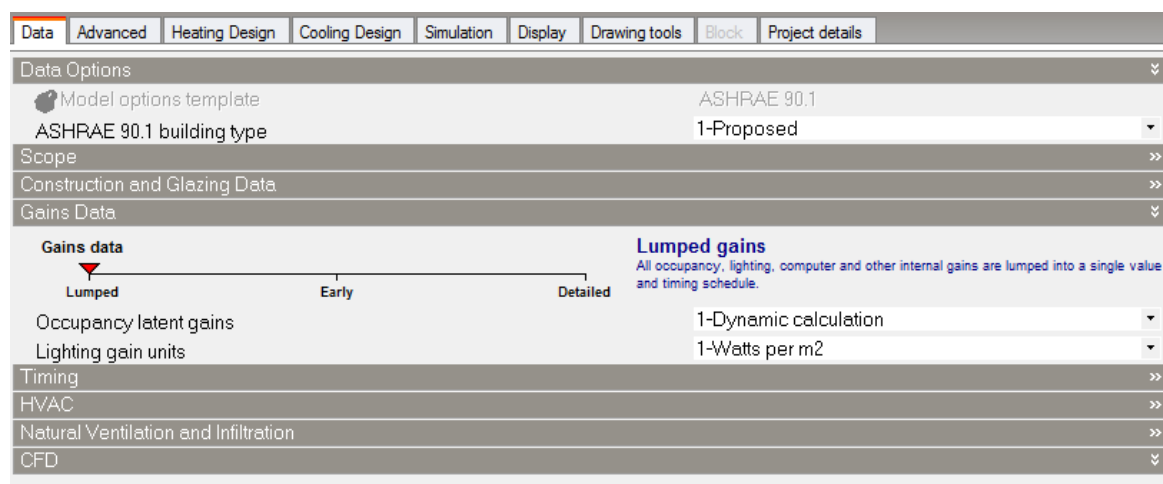


Figura 3.23 - Categoria de ganhos internos utilizados nas simulações.

3.2.9 Permeabilidade ao ar

O valor utilizado e inserido no programa foi o seguinte:

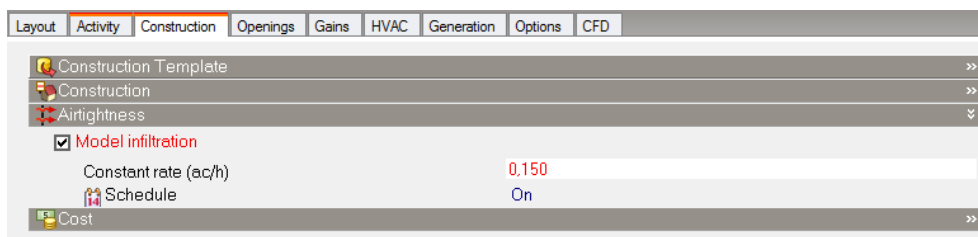


Figura 3.24 - Valor de permeabilidade ao ar utilizado nas simulações.

Este valor foi escolhido de acordo com os requisitos estabelecidos para 2016 pelo NHBC para casas novas no Reino Unido com metas de carbono zero. O NHBC estabelece que a partir de 2016 estes edifícios terão de atingir níveis de permeabilidade de 3 m³/h.m² a 50 Pa descendo progressivamente até 1 m³/h.m² no futuro [60]. Foi escolhido o valor de 3 m³/h.m² a 50 Pa, que pode ser aproximado para ac/h a pressão normal ao ser dividido por 20 [61]. Assim:

$$3 \text{ m}^3/\text{h.m}^2 \text{ a } 50 \text{ Pa} = \frac{3}{20} \text{ ac/h} = 0,15 \text{ ac/h}$$

3.3 Simulação energética

Para determinar as necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício dimensionado é necessário definir as temperaturas de conforto. Na estação de aquecimento 20 °C e na de arrefecimento 25 °C.

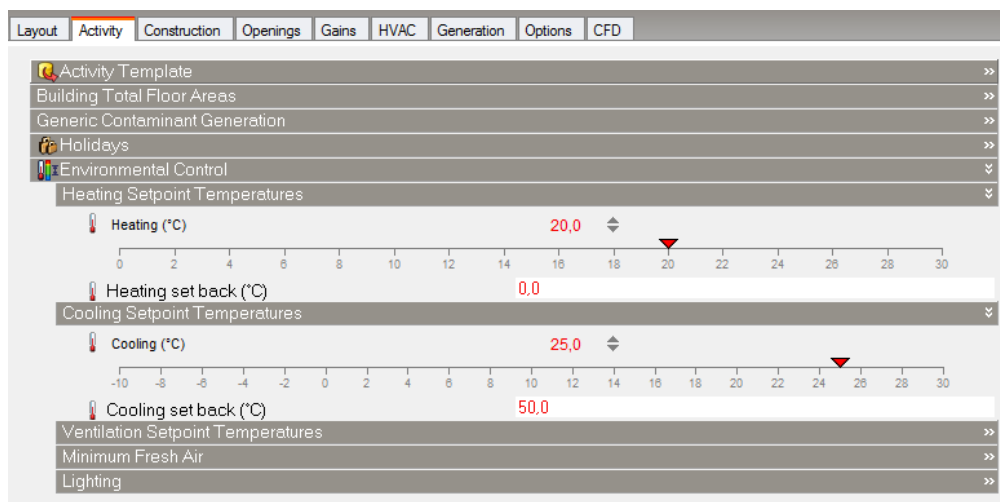


Figura 3.25 - Temperaturas de conforto para Inverno e Verão.

Depois de definir as temperaturas atribuiu-se um sistema AVAC fictício de modo a que cada zona fique com a temperatura do ar requeridas, para efeitos de simulação e de obtenção de resultados. Para este estudo utilizou-se o *template Fan-coil-unit* sem ventilação mecânica, com COP=1 e como fonte de energia para o sistema escolheu-se a eletricidade.

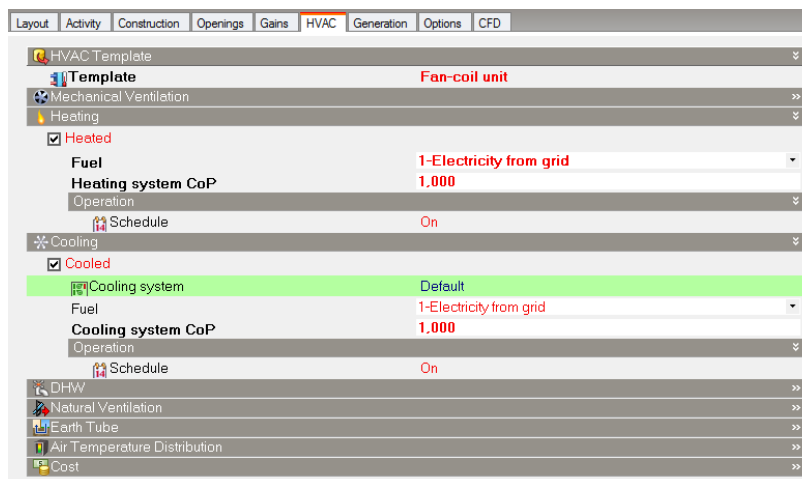


Figura 3.26 - Sistema AVAC escolhido

Foi ainda escolhida a opção *Simple HVAC* para efeitos de simulação, pois utiliza o algoritmo *idealLoads* do *EnergyPlus* e assim o sistema de aquecimento/arrefecimento é modelado usando algoritmos de cálculos de cargas mais básicos. Para sistemas de aquecimento convectivos e para todos os sistemas de arrefecimento o programa calcula as cargas de aquecimento e arrefecimento necessárias, fornecendo as cargas para aquecimento e arrefecimento até atingir as temperaturas de conforto.

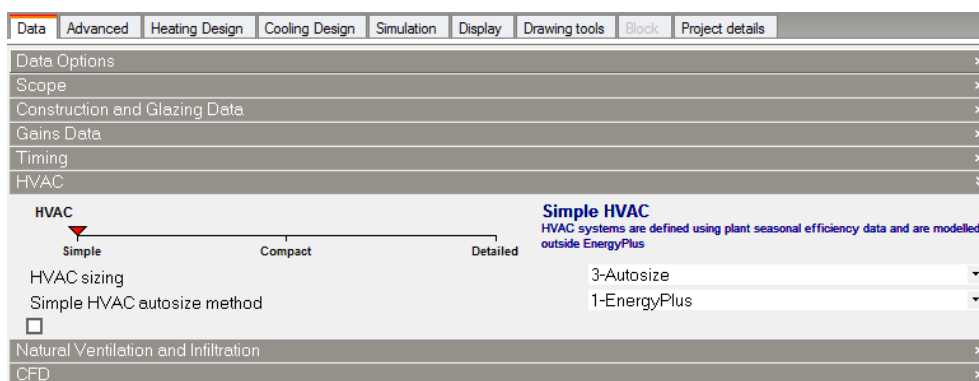


Figura 3.27 - Opção AVAC escolhida para simulação.

Por fim foi realizada a simulação energética anual do modelo dimensionado.

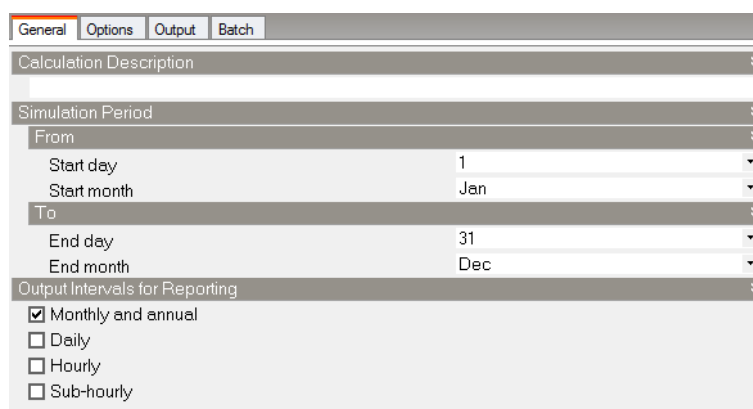


Figura 3.28 - Simulação energética anual.

3.3.1 Análise de resultados

Na tabela seguinte estão representados os valores obtidos relativos ao balanço energético do edifício:

Tabela 3.6 - *Ganhos e perdas energéticas do edifício.*

Balanço energético	kWh/ano	Ganho/Perda
Envidraçados	38,46	Ganho
Paredes	-1479,83	Perda
Tetos interiores	133,80	Ganho
Piso interior	-133,57	Perda
Piso em contacto com exterior	-567,97	Perda
Divisórias internas	0,37	Ganho
Telhado	-170,36	Perda
Infiltrações externas	-917,88	Perda
Ventilação natural	-4565,30	Perda
Ganhos Diversos	3480,79	Ganho
Ganhos solares janelas exteriores	2136,32	Ganho

É de notar que a maior parcela de perdas energéticas que ocorre é devido à ventilação natural. A substituição de ar poluído por ar novo implica grandes perdas uma vez que se introduz ar do exterior que necessita de ser aquecido ou arrefecido até à temperatura de conforto. Estes valores não podem ser alterados uma vez que são requisitos que estão tabelados, como já foi referido.

Ainda em relação às perdas, repara-se ainda no valor associado às perdas pela envolvente exterior: cobertura, paredes e piso em contacto com o exterior. Estes três elementos em conjunto representam a segunda maior fatia de perdas do edifício, mostrando assim que por muito que se isole um edifício as perdas vão sempre existir, no entanto podem ser minimizadas.

Quanto aos ganhos existem dois tipos que têm uma alta relevância no desempenho que o edifício tem: Ganhos solares e diversos. Os ganhos solares são importantes pois ajudam a baixar as necessidades de aquecimento anuais, no entanto podem ajudar a aumentar os gastos com arrefecimento. Os ganhos diversos devem-se a ganhos com equipamentos, iluminação, pessoas entre outros.

Existem dois tipos de ganhos que podem ser alvo de alguma confusão na análise de resultados obtidos, os ganhos através dos envidraçados e os ganhos solares das janelas exteriores. Relativamente aos envidraçados, referem-se à transmissão de calor que se faz através dos vidros, caixilho e divisórias, não contabilizando a radiação solar. Já os ganhos solares das janelas exteriores tem a ver com a radiação solar que entra no edifício através dos envidraçados.

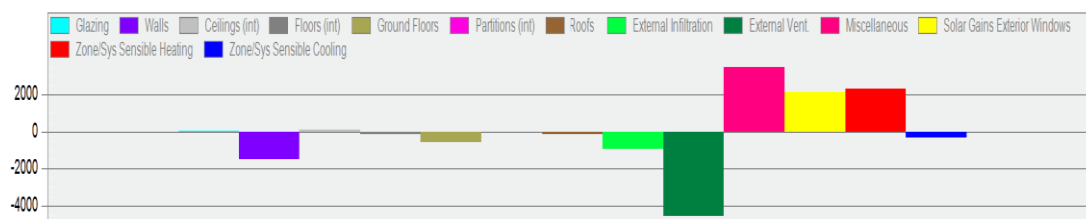


Figura 3.29 - Ganhos, perdas e necessidades energéticas do edifício vistos sob forma gráfica.

No entanto, estes elementos nem sempre se comportam do mesmo modo durante o ano, ocorrendo oscilações durante as diferentes estações. É possível consultar o gráfico que dá os dados sobre o balanço energético mensal dos vários elementos da envolvente.

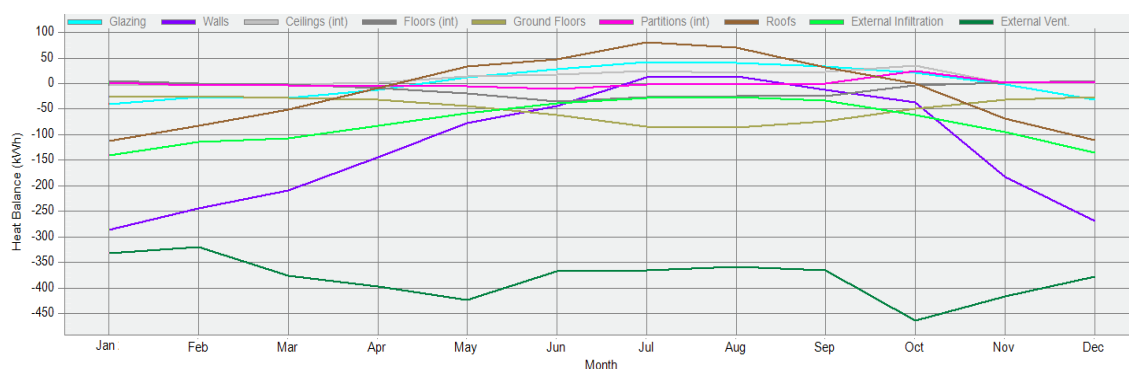


Figura 3.30 - Balanço energético mensal da envolvente.

Tanto para os envidraçados, como paredes e telhado, a carga térmica começa em valores negativos aumentando linearmente até Julho. Isto tem a ver com o aumento da temperatura exterior e com o aumento da radiação solar, que incide nestas superfícies até Julho, começando depois a decrescer as suas intensidades.

É ainda importante realçar o desempenho do piso que se encontra em contacto com o solo exterior. Verifica-se que neste caso ocorre o inverso. A carga térmica decresce linearmente de valores positivos para negativos durante o ano, mais especificamente de Janeiro a Julho, onde atinge o mínimo, começando então a crescer novamente e a aliviar as perdas. Isto deve-se ao facto da temperatura do solo não variar muito, sendo aproximadamente constante ao longo do ano. Este efeito é benéfico no Verão por ajudar a dissipar calor e no Inverno por ajudar a aquecer.

Do balanço feito resultam necessidades de aquecimento e arrefecimento anuais de 2334,79 kWh e 312,04 kWh, respetivamente. Estes valores estão também representados na figura 3.29 a vermelho e azul, respetivamente.

Tendo os resultados das simulações, existem agora condições para comparar os resultados obtidos com os valores que são sugeridos pelo *passivhaus*.

Tabela 3.7 - Comparação de dados obtidos com as recomendações do PHI.

	Edifício Modelado	Recomendação PHI
Gastos energéticos	kWh/ano.m ²	kWh/ano.m ²
Aquecimento	14,7	15
Arrefecimento	1,96	15

Verifica-se que as necessidades energéticas são inferiores às que são tabeladas pelo PHI. Mais uma vez salienta-se que estes valores servem como uma referência, um NZEB não tem que os respeitar, no entanto são um bom indicador para uma casa eficiente.

Para se ter uma ideia precisa de como se distribuem as necessidades pelas diferentes zonas do edifício nos diferentes meses do ano foram elaboradas as tabelas que estão expostas em baixo, com base nos dados que os resultados das simulações fornecem. Estas tabelas permitem saber quais são as necessidades mensais e totais do edifício (colunas) e as necessidades mensais e anuais de cada zona (linhas). A primeira tabela corresponde a aquecimento e a segunda a arrefecimento.

Tabela 3.8 - Necessidades de aquecimento para diferentes zonas do edifício e meses do ano.

	Zona	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total kWh
Piso 0	Sala	62,24	56,35	57,95	42,33	17,77	2,75	0	0	0	4,05	44,25	61,63	349,3
	Escadaria	35,75	27,53	18,13	6,57	0	0	0	0	0	0	14,89	33,82	136,7
	Cozinha	45,26	38,88	40,11	30,13	20,58	5,58	0,52	0	1,62	13,23	36,61	44,92	277,4
	Arrumação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
	Dispensa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
	Escritório	40,41	36,68	38,48	29,7	14,02	2,64	0	0	0	3,37	30,17	40,08	235,6
	Corredor	2,28	1,87	0,36	0	0	0	0	0	0	0	0,04	1,31	5,9
	WC	26,03	22,36	22,86	18,04	13,57	3,64	0,02	0	0,53	7,99	21,94	25,71	162,7
	Hall	4,24	2,76	1,81	0,51	0	0	0	0	0	0	1,11	3,42	13,9
Piso 1	Quarto 1	61,03	56,02	54,59	42	11,58	0,02	0	0	0	2,09	44,45	63,27	335,1
	Quarto 2	63,98	57,19	55,76	41,9	10,83	0	0	0	0	1,77	43,58	64,59	339,6
	Quarto 3	46,78	37,89	31,26	21,36	2,98	0	0	0	0	2,02	30,96	45,38	218,6
	WC	32,3	28,38	29,63	21,35	12,43	2,53	0	0	0,3	8,6	27,06	32,07	194,7
	Casa das Máquinas	13,71	7,74	3,02	0	0	0	0	0	0	0	2,95	12,23	39,7
	Corredor	10,15	6,06	1,96	0	0	0	0	0	0	0	1,68	8,35	28,2
Total kWh		444,2	379,7	355,9	253,9	103,8	17,2	0,5	0,0	2,5	43,1	299,7	436,8	2337,2

Repara-se, que apesar de se ter tido o cuidado de projetar os quartos maiores, o escritório e sala, que são zonas com maiores necessidades de aquecimento a Sul, para maximizar ganhos solares no Inverno, estes continuam a ter um peso elevado nas necessidades. Estas zonas têm maiores necessidades de ventilação, daí resulta grande parte das suas necessidades que mesmo tendo uma alta percentagem no valor total, são atenuadas pelo facto de estarem viradas a sul.

Por outro lado, verifica-se uma variação no somatório total das necessidades de aquecimento de cerca de 2,4 kWh em relação ao valor do balanço obtido previamente (2334,79 kWh). Esta diferença é mínima e pode estar relacionada com o facto de se terem consultado simulações mensais para a construção destas tabelas, enquanto primariamente se tinha recorrido à simulação anual. No futuro será utilizado o valor da tabela uma vez que este

cenário é o mais negativo e porque será necessário saber as necessidades energéticas mensais quando se integrarem os sistemas de produção de energia renovável.

Já nas necessidades de arrefecimento o valor total apresentado na tabela é praticamente o mesmo que o valor obtido anteriormente, como se verá de seguida.

Tabela 3.9 - Necessidades de arrefecimento para diferentes zonas do edifício e meses do ano.

	Zona	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total kWh
Piso 0	Sala	0	0	0	0	0	0	6,29	3,45	1,68	0	0	0	11,4
	Escadaria	0	0	0	0	0	0	5,46	5,15	0,06	0	0	0	10,7
	Cozinha	0	0	0	0	0	0	3,58	2,23	0,03	0	0	0	5,8
	Arrumação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
	Dispensa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
	Escritório	0	0	0	0	0	0	4,06	3,57	1,62	0	0	0	9,3
	Corredor	0	0	0	0	0	0	1,17	0,17	0	0	0	0	1,3
	WC	0	0	0	0	0	0	0,19	0	0	0	0	0	0,2
	Hall	0	0	0	0	0	0	2	2,23	0,36	0	0	0	4,6
Piso 1	Quarto 1	0	0	0	0	0	0,97	20,56	20,32	7,45	0,1	0	0	49,4
	Quarto 2	0	0	0	0	0	1,14	22,53	21,84	8,49	0,1	0	0	54,1
	Quarto 3	0	0	0	0	0,03	4,11	27,48	23,78	5,34	0,05	0	0	60,8
	WC	0	0	0	0	0	0	3,68	2,49	0,28	0	0	0	6,5
	Casa das Máquinas	0	0	0	0	0	4,6	23,2	20,14	5,12	0,19	0	0	53,3
	Corredor	0	0	0	0	0	1,51	19,66	18,84	4,49	0,24	0	0	44,7
	Total kWh	0	0	0	0	0,03	10,8	119	105,2	30,4	0,44	0	0	312,0

No geral as necessidades de arrefecimento obtidas são baixas. Estes valores resultam do dimensionamento realizado não só a nível de envolvente como também à distribuição feita das diferentes zonas no edifício. As zonas com maiores necessidades de aquecimento e iluminação foram colocadas na fachada Sul para diminuir as necessidades de aquecimento e esse facto evita também o sobreaquecimento que ocorreria na estação de arrefecimento caso os seus vãos envidraçados estivessem colocados nas fachadas Este e Oeste.

Para comprovar o que se afirma no parágrafo anterior, durante o desenvolvimento do projeto foram realizadas simulações em que as zonas estavam exatamente no mesmo sítio, mudando-se apenas a colocação dos vãos. Numa dessas simulações colocaram-se duas janelas na superfície Este (zona da escadaria) para iluminar não só a escadaria, como o corredor do primeiro andar.

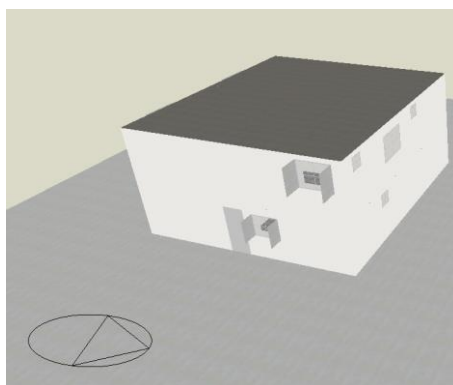


Figura 3.31 - Edifício com duas janelas na fachada Este.

Foram obtidas necessidades de aquecimento e arrefecimento de 2126 kWh e 782 kWh, respetivamente. Relacionando este caso com o edifício feito para este projeto as necessidades de aquecimento neste caso são menores, isto porque os vãos permitem que entre mais energia solar no Inverno. No entanto as necessidades de arrefecimento mais que duplicam! Sendo que a zona da escadaria representa quase metade das necessidades com aproximadamente 353 kWh das necessidades totais de arrefecimento. Esta foi uma das razões que levou a que fosse colocada uma janela vertical na fachada Norte e uma pequena janela junto ao *hall* de entrada (fachada Este) no âmbito deste projeto, pois iluminam à mesma as diferentes zonas e anualmente as necessidades energéticas diminuem.

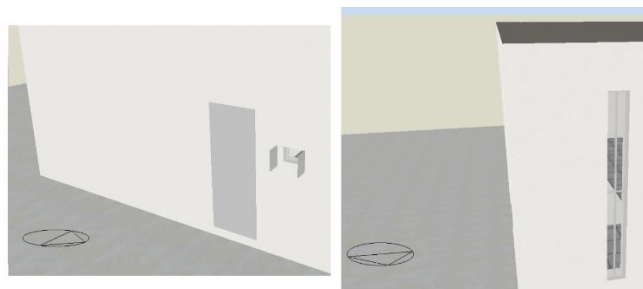


Figura 3.32 - Janela na fachada Este e na Fachada Norte.

Por último foram ainda realizadas simulações mensais de modo a obter os valores dos gastos elétricos do edifício em cada mês, tendo-se obtido os seguintes resultados:

Tabela 3.10 - Necessidades elétricas do edifício modelado.

	SIMULAÇÃO MENSAL												Total
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Necessidades elétricas kWh	295,6	267,0	295,6	286,1	295,6	286,1	295,6	295,6	286,1	295,6	286,1	295,6	3480,8

Estas necessidades resultam do valor utilizado para os ganhos na simulação de 2,5 W/m² e podem ser conferidos realizando o seguinte cálculo:

$$N_{em} = G_i \times A_i \times n_{dx} \times n_h [kWh]$$

Equação 3.1 - Cálculo das necessidades elétricas do edifício.

4 Integração de sistemas de produção de energia renovável

Como já foi dito, a energia solar tem um papel preponderante neste estudo. Os sistemas renováveis a utilizar no edifício dimensionado vão partir principalmente dessa fonte com a utilização de coletores solares térmicos e módulos fotovoltaicos, que podem ser estudados no SolTerm.

Numa primeira fase será apresentado o dimensionamento do sistema solar térmico que ajuda a colmatar grande parte as necessidades de aquecimento obtidas na análise realizada e as necessidades de AQS que vão ser calculadas num dos subcapítulos seguintes. De seguida, irá ser introduzida uma bomba de calor no sistema que não só colmata as restantes necessidades de aquecimento como também ajuda a reduzir a energia elétrica usada para arrefecimento por ser um sistema com alta eficiência energética. Por último, retornar-se-á à energia solar mas agora na vertente fotovoltaica, de modo a tentar suprir ao máximo as necessidades totais de energia elétrica obtidas também no capítulo anterior mais as necessidades da bomba.

4.1 Software usado

O SolTerm é um programa de análise de desempenho de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos, especialmente ajustado às condições climáticas e técnicas de Portugal. A análise de desempenho de um sistema solar é feita através de simulações energéticas sob condições quasi-estacionárias, isto é, são simulados os balanços energéticos no sistema em intervalos curtos, durante os quais se considera constante o estado do ambiente e do sistema [62].

Nestas simulações são usadas informações sobre:

- Configuração/dimensionamento do sistema;
- Estratégias de controlo e operação;
- Radiação solar horizontal e temperatura ambiente em fase horária;
- Obstruções, sombreamentos, albedo das redondezas, turbidez da atmosfera;
- Características técnicas dos componentes (coletores, armazenamento, etc);
- Consumo (ou “carga”) do sistema em base horária mensal.

A partir dos resultados das simulações de um sistema é possível obter o seu pré-dimensionamento, sendo fornecidas no programa algumas ferramentas de otimização automática sob vários critérios energéticos. O *software* disponibiliza também análise económica e análise de benefícios energia-ambiente, designadamente do uso evitado de energia fóssil e das emissões de gases com efeito de estufa evitadas pelo uso dos sistemas solares [62].

O primeiro aspeto a considerar no programa é o clima e local onde se pretende inserir o projeto. Quando se escolhe a zona, ficam automaticamente selecionados a irradiação e a sua temperatura ambiente desse local, que variam ao longo dos diferentes meses do ano.

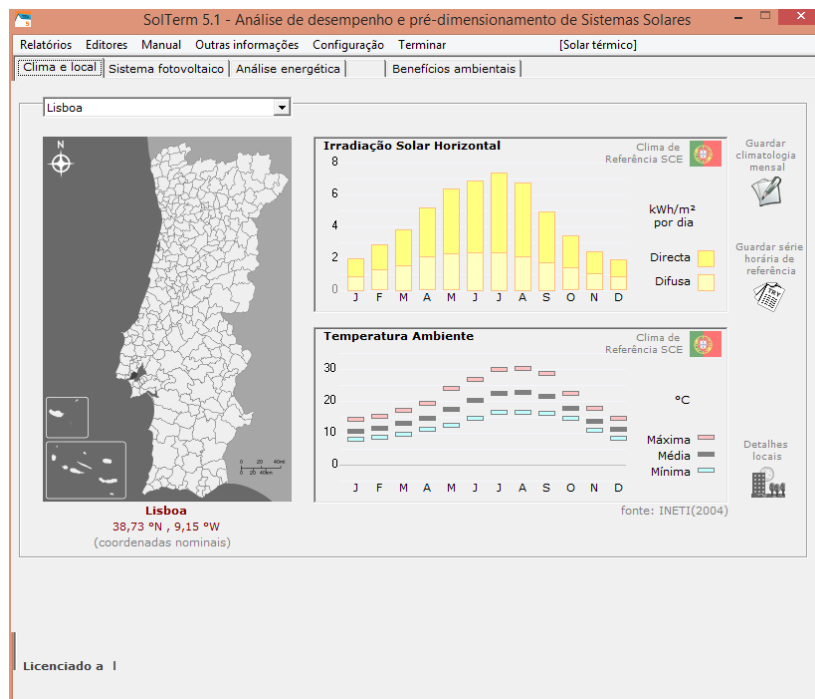


Figura 4.1 - Seleção de condições climáticas no SolTerm.

Ainda dentro desta *interface* podem ser feitos ajustes quanto a detalhes locais da zona: obstruções existentes no local, turbidez da atmosfera e o albedo do solo, como pode ser visto na seguinte figura.

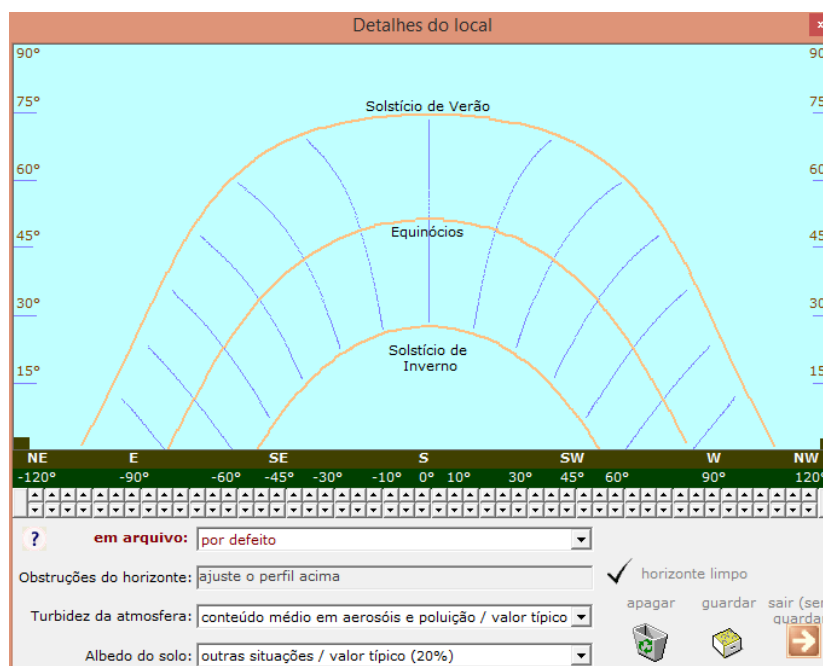


Figura 4.2 - Detalhes do local.

De seguida deve ser dimensionado o sistema e devem ser definidas as suas propriedades de acordo com o tipo de projeto que se pretende implementar.

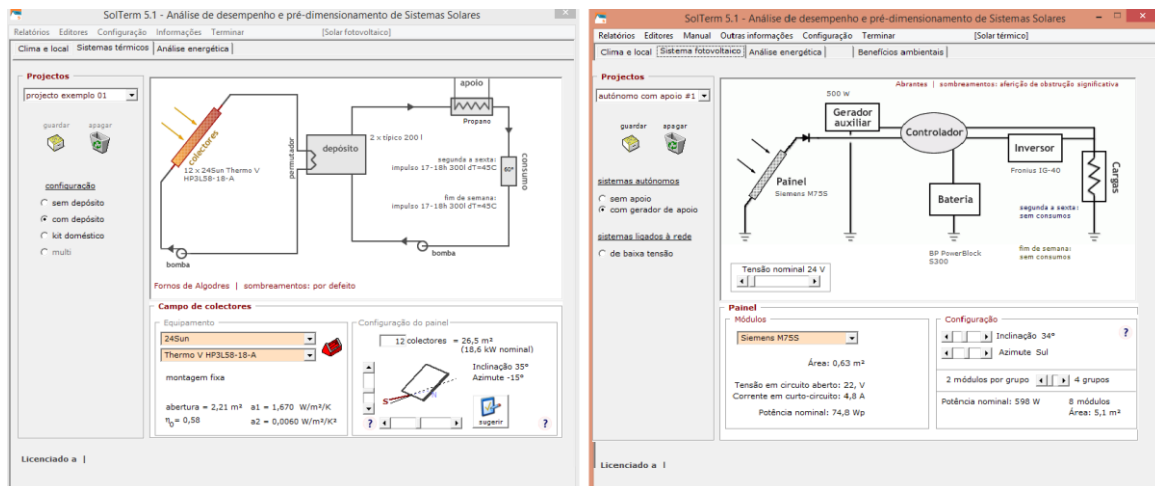


Figura 4.3 - Seleção de dados para um sistema solar térmico (esquerda) e para um sistema solar fotovoltaico (direita).

Por último, é feita a análise energética dos sistemas dimensionados que pode ser ainda otimizada sob diversos critérios energéticos no próprio programa (aumento da fração solar, redução da energia de apoio, orientação dos painéis ou redução da energia desperdiçada).

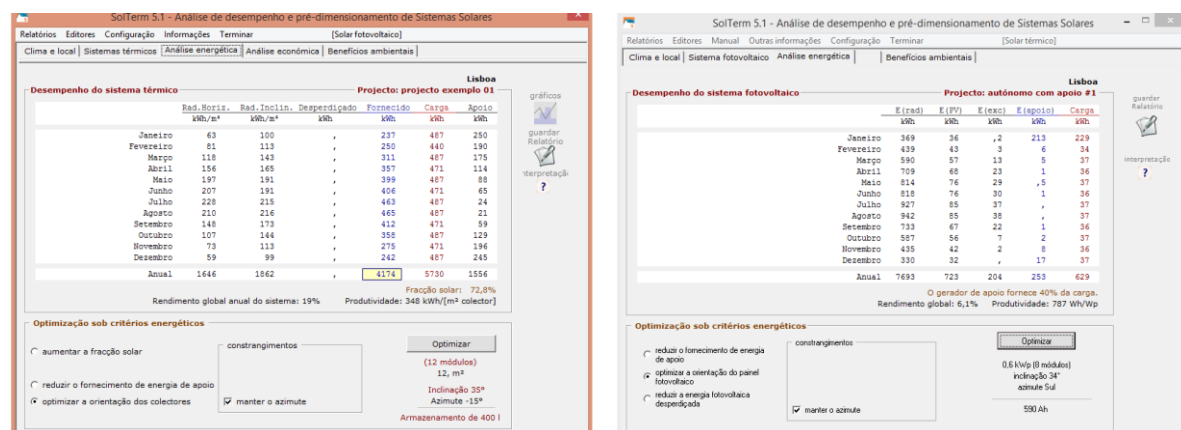


Figura 4.4 - Exemplo de análise energética de um sistema solar térmico (esquerda) e de um sistema solar fotovoltaico (direita).

Nestas análises existem alguns parâmetros que necessitam de ser clarificados. No caso dos sistemas térmicos tem-se [62]:

Rad.Horiz. – Energia acumulada da radiação solar global na horizontal à superfície, por unidade de área (kWh/m²). A radiação global é a soma das componentes direta e difusa da radiação.

Rad.Inclin. – Energia acumulada da radiação solar global à face dos coletores solares, por unidade de área (kWh/m²), portanto num plano inclinado.

Desperdiçado – Energia que o sistema solar recolhe mas tem que dissipar.

Fornecido – Energia acumulada que o sistema fornece para consumo. Trata-se de energia final útil, efetivamente entregue.

Carga – Valor acumulado da energia solicitada para consumo.

Apoio – Energia acumulada entregue para consumo pelo sistema de apoio, ou auxiliar, para complementar a energia fornecida pelo sistema solar.

Fração solar – Percentagem de energia útil fornecida para consumo a partir de radiação solar, ou seja, a contribuição do sistema solar para o consumo solicitado. Esta é a principal medida de avaliação de desempenho de sistemas solares térmicos. Este valor deverá estar sempre entre os 40% e 90% de modo a não subdimensionar ou sobredimensionar o sistema.

Já para os sistemas fotovoltaicos têm-se os seguintes parâmetros:

E(rad) – Energia diária média da radiação solar global à face do painel fotovoltaico, em geral num plano inclinado.

E(pv) – Energia diária média de radiação solar convertida pelos módulos do painel.

E(exc) – Energia média diária que o painel converte mas o sistema tem de dissipar.

E(sist) – No caso de sistemas autónomos sem apoio ou ligados à rede, este parâmetro mostra qual é a energia diária média que o sistema fornece para consumo.

E(apoio) – Energia média diária fornecida para consumo pelo sistema de apoio, ou auxiliar, que complementa a energia fornecida pelo sistema solar.

4.2 Sistema solar térmico

Para dimensionar o sistema solar térmico falta saber quais as necessidades energéticas relativas ao aquecimento das águas sanitárias, uma vez que este sistema vai servir para apoiar o aquecimento destas e do ambiente. De acordo com o despacho referido no capítulo 2 as necessidades de AQS são calculadas do seguinte modo:

$$M_{AQS} = 40 \times n \times f_{eh} = 40 \times 4 \times 0,9 = 144 \text{ litros/dia}$$

O consumo médio de água é calculado considerando $n = 4$, pois o edifício é um T3 e $f_{eh} = 0,9$, por se considerar que os sistemas de chuveiro e duche têm rótulos de eficiência de nível A ou superior.

Os restantes valores são os que se encontram tabelados, $\Delta T = 35^\circ\text{C}$ (sendo que a temperatura de referência é 50°C) e $n_d = 365 \text{ dias}$.

Substituindo o resultado obtido na seguinte expressão fica-se então a saber quais as necessidades de aquecimento das AQS:

$$Q_a = \frac{M_{AQS} \times 4187 \times \Delta T \times n_d}{3600000} = 2139,6 \text{ kWh/ano}$$

No entanto o *SolTerm* permite que se faça uma estimativa mais precisa, pois não considera que a água da rede está sempre a 15°C como no caso desta equação. A temperatura da água da rede varia ao longo do ano e o programa tem os valores médios de temperatura da água da rede para cada região existente em Portugal, para os diferentes meses do ano.

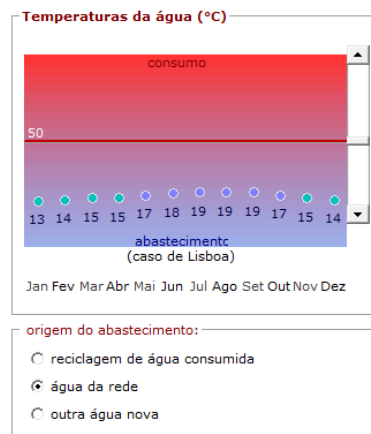


Figura 4.5 - Temperatura média de água da rede nos diferentes meses do ano para Lisboa (azul).

Dada esta distribuição de temperaturas foram então simulados quais os valores das cargas que daí resultam tendo sido obtidos os seguintes resultados para os diferentes meses do ano:

	<u>Carga</u> kWh
Janeiro	190
Fevereiro	169
Março	184
Abril	173
Maio	172
Junho	160
Julho	159
Agosto	159
Setembro	157
Outubro	171
Novembro	176
Dezembro	189
Anual	2059

Figura 4.6 - Necessidades de AQS calculadas no programa SolTerm, para o edifício modelado.

Verifica-se que existe uma diferença de cerca de 80 kWh relativamente aos resultados obtidos anteriormente, que é justificada pelo facto da temperatura média da água da rede em Lisboa ser superior à média nacional, daí ser necessária menos energia para elevar a temperatura a 50 °C. Este último resultado (2059 kWh) será o utilizado daqui para a frente neste estudo.

Deste modo, estão definidas as necessidades de aquecimento ambiente e AQS do edifício, encontrando-se sintetizadas na tabela seguinte:

Tabela 4.1 - Necessidades totais de aquecimento do edifício.

Necessidades de aquecimento (kWh)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Ambiente	444	380	356	254	104	17	1	0	2	43	300	437	2337
AQS real	190	169	184	173	172	160	159	159	157	171	176	189	2059
Total Aquecimento mensal	634	549	540	427	276	177	160	159	159	214	476	626	4396

Estas cargas devem ser colocadas no programa e devem ser distribuídas de acordo com um perfil de consumo. Foram criados dois perfis diferentes, um para AQS e outro para aquecimento ambiente.

O primeiro perfil criado foi o das AQS:

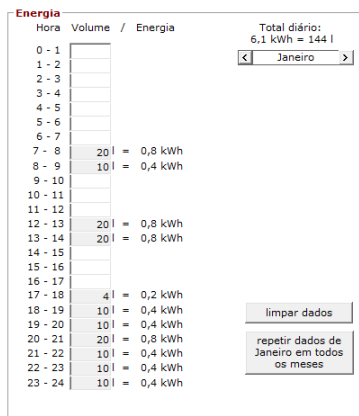


Figura 4.7 - Perfil de consumo AQS no mês de Janeiro.

Estabeleceu-se que os horários dos consumos de AQS seriam ao início da manhã, depois haveria um período de gastos na hora de almoço e ainda outro período onde os gastos eram maiores, que é o noturno, tendo-se distribuído os 144 litros de água nesses períodos. Este perfil foi feito e assumido para todos os meses no contexto deste estudo, sendo que pode não ser o perfil médio de gastos das famílias, no entanto pode ser um perfil existente no contexto familiar.

De seguida foi criado o segundo perfil de consumo, relativo ao aquecimento ambiente. Teve que se dividir os gastos obtidos anteriormente de cada um dos meses pelo número de dias do mês pois os dados têm de ser inseridos no programa como total diário. Assim temos:

Tabela 4.2 - Aquecimento ambiente. Média diária em kWh.

Aquecimento ambiente média diária kWh	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	14,3	13,6	11,5	8,5	3,3	0,6	0,0	0	0,08	1,4	10,0	14,1

Considerou-se que as necessidades de aquecimento do edifício são uniformes ao longo das 24 horas do dia e estabeleceu-se o seguinte perfil para o mês de Janeiro, sendo que os perfis dos restantes meses foram estabelecidos de forma análoga, de acordo com os valores presentes na tabela acima.

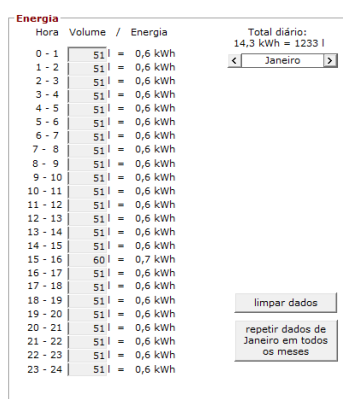


Figura 4.8 - Perfil de consumo aquecimento ambiente no mês de Janeiro.

Em Setembro o valor relativo a aquecimento ambiente é tão baixo que não é possível introduzi-lo nos consumos, não sendo por isso contabilizado.

Na figura 4.8 repara-se ainda no detalhe do canto superior direito relativo ao número de litros de água. Este valor representa o número de litros diários médio que necessitam de ser aquecidos para o aumento de temperatura que se pretende para o sistema, neste estudo optou-se por 10 °C de diferença entre a ida e retorno, tendo como consequência a necessidade de aquecer o seguinte número de litros de água (para aquecimento ambiente):

Tabela 4.3 - N^o médio de litros aquecidos por dia em cada mês para aquecimento ambiente.

N ^o médio de litros aquecidos diários	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	1233	1168	988	729	288	48	0	0	0	120	860	1212

Estando os dois perfis definidos iniciou-se o dimensionamento do sistema térmico que é composto do seguinte modo:

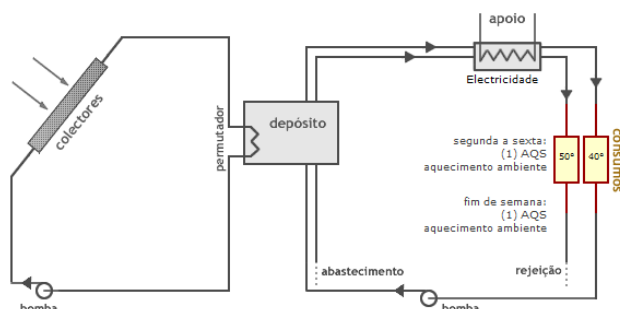


Figura 4.9 - Sistema térmico utilizado.

Do lado esquerdo do sistema encontra-se um esquema básico do circuito primário. Neste caso constituído por uma bomba, coletores solares térmicos e permutador de calor ligado aos depósitos.

Já no lado direito do sistema encontra-se um circuito aberto e um fechado. O circuito aberto destina-se a AQS sendo que a água vem de um circuito exterior, neste caso a rede pública (abastecimento) e é rejeitada após utilização. O circuito fechado destina-se à climatização ambiente por piso radiante, sendo neste caso a água reaproveitada fazendo-se a sua recirculação. Em ambos os circuitos foram adicionadas as cargas dimensionadas previamente dando sempre prioridade de aquecimento às AQS sendo que ainda existe a possibilidade de utilização de energia de apoio (elétrica) para suprir as necessidades que faltarem ser cumpridas.

De acordo com o que foi exposto anteriormente acerca da distância que se deve preservar entre fileiras sabe-se que para uma instalação na zona de Lisboa e cujo período de utilização da instalação solar seja todo o ano, a distância deverá ser de 3,8 m considerando que no máximo o painel tem 2 m de altura. O dimensionamento e escolha dos coletores será feito de acordo com esta regra, sendo que deste modo é possível ter 3 fileiras no terraço (uma vez que é plano e mede 10 m tanto de largura como de comprimento) sendo que uma será para painéis solares térmicos e duas para módulos fotovoltaicos.

De modo a prevenir ainda possíveis obstruções, a fileira usada para os painéis solares térmicos será localizada mais a norte, ou seja, atrás dos módulos fotovoltaicos, uma vez que as

inclinações usadas em relação à horizontal são normalmente maiores de modo a permitir maior aproveitamento solar no Inverno, projetando assim uma sombra maior do que no caso dos módulos em que as inclinações são menores.

Posto isto, foi feita uma pesquisa de modo a comparar dois sistemas com diferentes tipos de coletores mais utilizados (planos e de vácuo) e diferentes capacidades de armazenamento, tentando encontrar no mercado equipamentos que o *SolTerm* já possua na sua base de dados de modo a poder utilizar as suas características para as simulações a realizar e averiguar a sua viabilidade.

Encontraram-se 4 casos no mercado que tinham as características pretendidas para a realização das simulações. O caso 1 e 2 são relativos a coletores solares térmicos planos e as suas composições são apresentadas de seguida:

Tabela 4.4 - Características dos kits solares térmicos compostos por coletores solares planos. Fonte: [63][64].

	Caso 1	Caso 2
Coletores	6 Coletores SKR 500	5 Coletores SKR 500
Depósitos	1 Depósito PSR1000E de 1000 litros	1 Depósito PSR800E de 800 litros
Material adicional	Grupo hidráulico de ida e retorno; Controlador 2 circuitos; Vaso de expansão; Módulo de água quente; 25 litros de Anticongelante; Estação de fixação regulável para 6 coletores.	Grupo hidráulico de ida e retorno; Controlador 2 circuitos; Vaso de expansão; Módulo de água quente; 20 litros de Anticongelante; Estação de fixação regulável para 5 coletores.
Preço	10369 €	9299 €

Os coletores são iguais em ambos os casos e têm as seguintes características:

Colector SONNENKRAFT SKR500

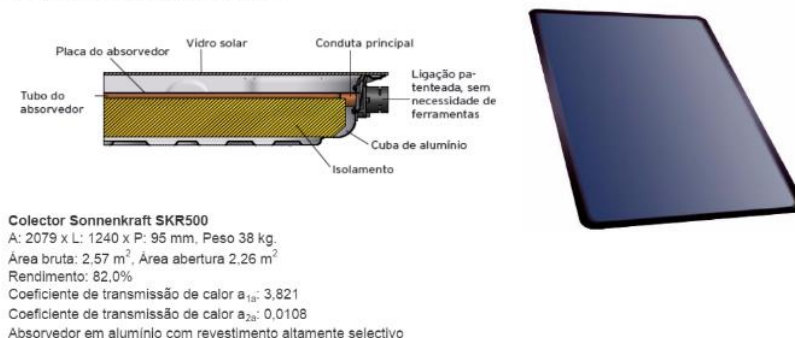


Figura 4.10 - Coletores SKR500. Fonte [63].

Existe ainda a recomendação por parte do fabricante para que os coletores tenham entre si um espaço de 40 mm. Como a largura dos painéis é de 1240 mm não existem restrições a nível de espaço para a implementação de qualquer um dos casos apresentado anteriormente.

Em ambos os casos os depósitos têm uma única serpentina, pelo facto do *SolTerm* não reconhecer depósitos com duas serpentinas, ou seja, mesmo que se escolhesse um depósito de duas serpentinas (por apresentarem melhores rendimentos e eficiências), este iria acarretar mais custos e na simulação não se iria notar diferença, o que iria prejudicar o estudo. Os depósitos escolhidos apresentam as seguintes características:

Depósito de inércia Sonnenkraft modelo PSR-E

Depósito Sonnenkraft PSR800E

Altura: 1780 mm, Diâmetro: 990 mm, Peso: 135 kg
Espessura do isolamento: 100 mm
Área da serpentina: 2,3 m², Volume do permutador: 14,6 l

Depósito Sonnenkraft PSR1000E

Altura: 2135 mm, Diâmetro: 990 mm, Peso: 160 kg
Espessura do isolamento: 100 mm
Área da serpentina: 3,0 m², Volume do permutador: 20,0 l



Figura 4.11 - Características dos depósitos PSR-E de 800 e 1000 litros. Fonte: [64].

Os casos 3 e 4 são relativos a coletores solares térmicos de tubo de vácuo e as suas composições são as seguintes:

Tabela 4.5 - Características dos kits solares térmicos compostos por coletores solares de tubo de vácuo. Fonte: [35].

	Caso 3	Caso 4
Coletores	4 Coletores com suporte 4SUN VAC30	4 Coletores com suporte 4SUN VAC30
Depósitos	2 Acumuladores de 500 litros	2 Acumuladores de 300 litros
Material adicional	Controladores; 3 sondas; Vaso de expansão; Manómetro de pressão; Bomba de circulação; Estrutura de suporte para terraço; 5 litros de anticongelante.	Controladores; 3 sondas; Vaso de expansão; Manómetro de pressão; Bomba de circulação; Estrutura de suporte para terraço; 5 litros de anticongelante.
Preço	6279 €	5588 €

Os coletores são iguais em ambos os casos e têm as seguintes características:

Dados Técnicos:

REFERÊNCIA 4SUN	4Sun VAC30
TECNOLOGIA	HEAT PIPE
NÚMERO DE TUBOS	30
ALTURA	1.990 m
COMPRIMENTO	2.105 m
LARGURA	0.153m
ÁREA BRUTA	4.189 m ²
ÁREA DE ABERTURA	2.834 m ²
PESO VAZIO	95 KG
COEFICIENTE DE PERDAS A1	1.4W/m ² /K
COEFICIENTE DE PERDAS A2	0.0123W/m ² /K ²



Figura 4.12 - Coletores 4SUN VAC30. Fonte [35].

Qualquer um destes 3 casos é possível de ser implementado no que a espaço diz respeito, uma vez que cada coletor tem 2,105 m de comprimento, e no máximo serão usados 4 coletores.

Os depósitos de 300 e 500 litros têm as seguintes características:

Dados Técnicos dos Acumuladores:

	300 LITROS	500 LITROS
DIÂMETRO EXTERIOR	620 mm	710 mm
DIÂMETRO INTERIOR	542 mm	613 mm
ALTURA	1530 mm	1800 mm
PESO VAZIO	95 KG	122 KG
INTERIOR	Aço Vitreficado	
EXTERIOR	Aço Galvanizado	
TIPO DE ISOLAMENTO	Poliuretano	
ESPESSURA DE ISOLAMENTO	40 mm	
SUPERFÍCIE DE PERMUTA (SERPENTINA SUPERIOR)	0,4m ²	0,5m ²
SUPERFÍCIE DE PERMUTA (SERPENTINA INFERIOR)	0,7m ²	0,8m ²
PROTEÇÃO	Ânodo de magnésio	
PRESSÃO MÁXIMA DE FUNCIONAMENTO	8 bar	

Figura 4.13 - Características dos depósitos utilizados nos casos 3 e 4.. Fonte [35].

Todos os dados foram passados para o *SolTerm* e foram realizadas as respetivas análises energéticas para cada um dos *kits* usados tendo-se obtido os seguintes resultados para os casos 1 e 2, respetivamente:

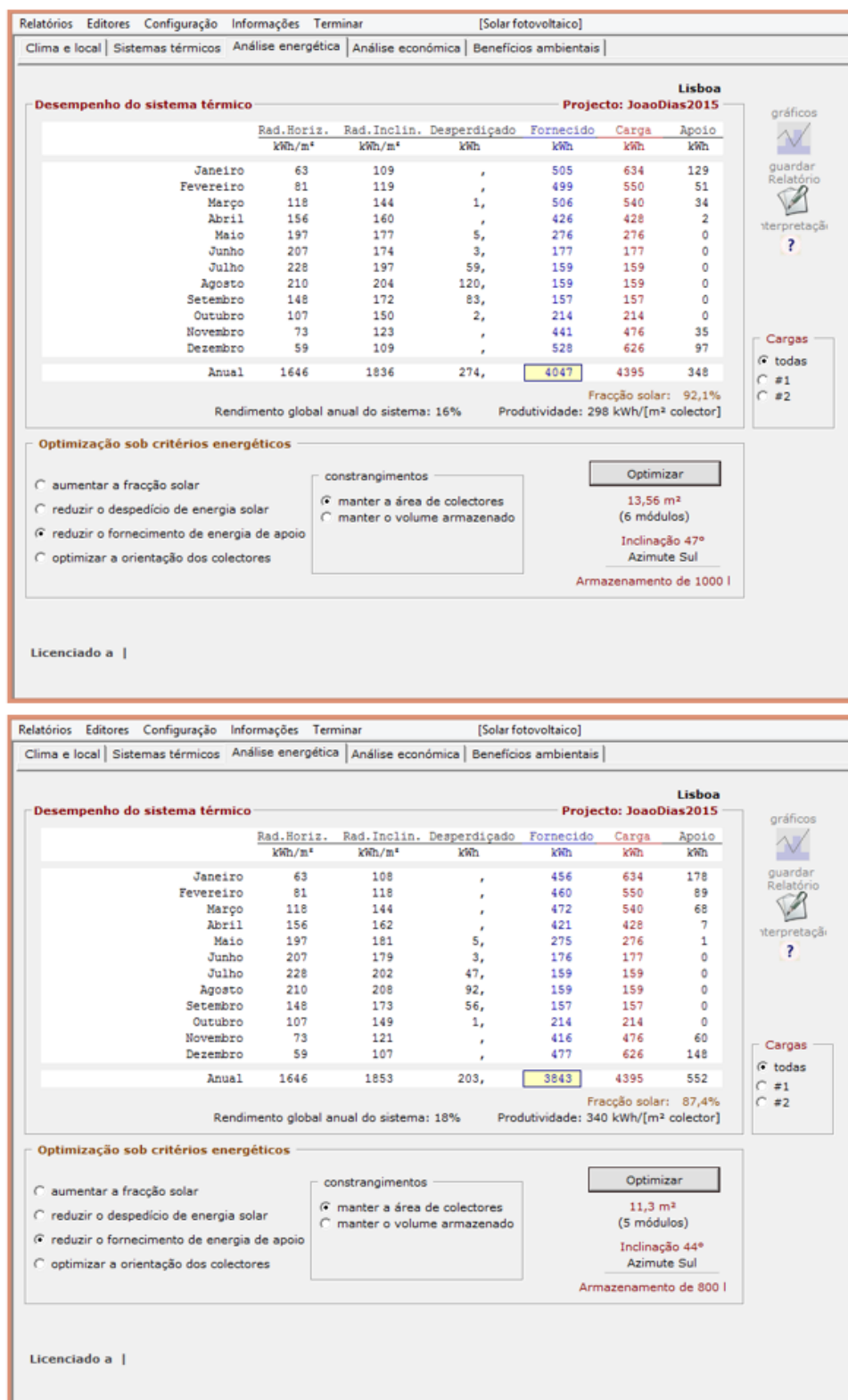


Figura 4.14 - Resultados da análise energética obtida no Solterm para o caso 1 e 2, respetivamente.

Já para o caso 3 e 4 os resultados são:

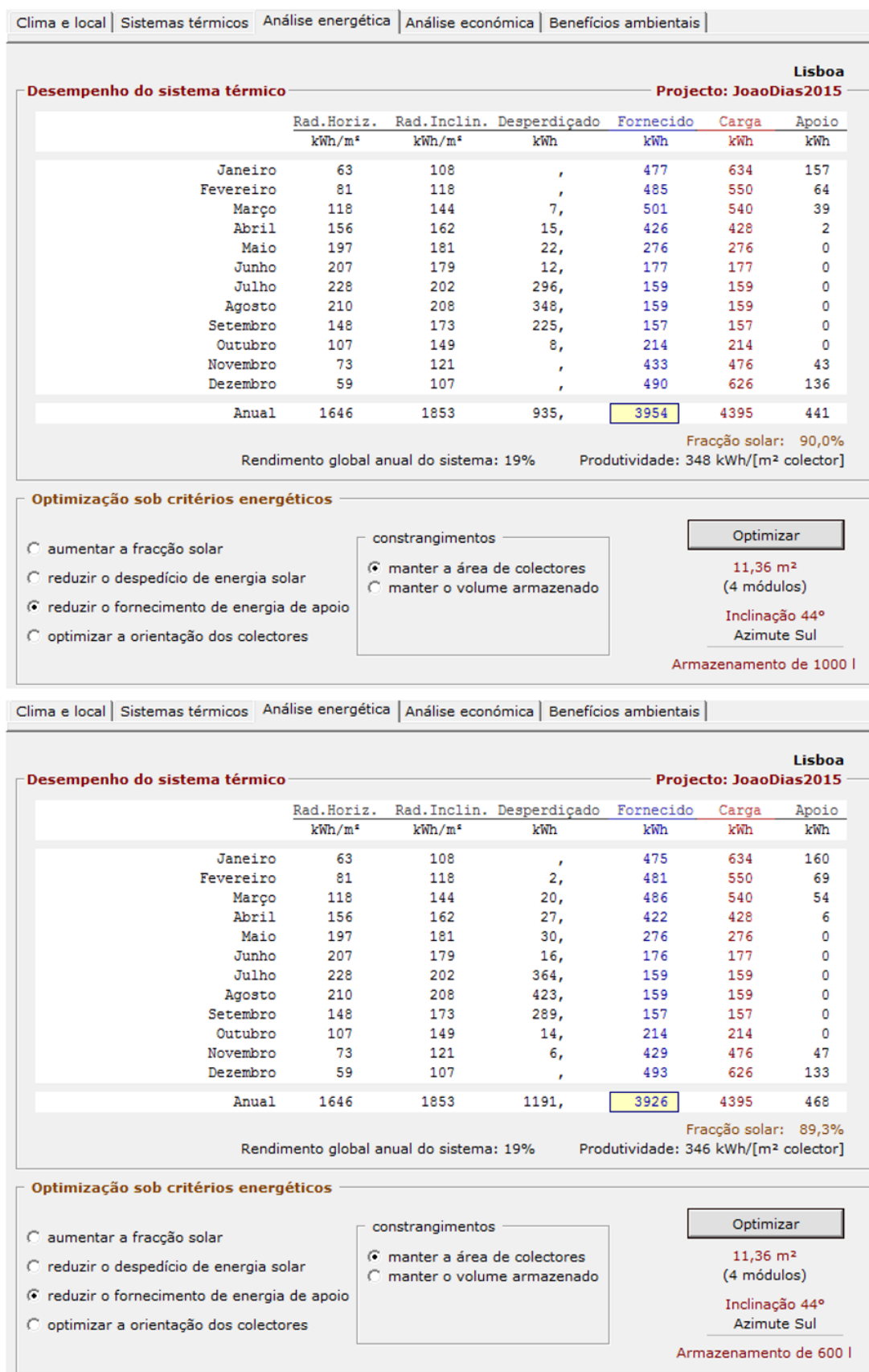


Figura 4.15 - Resultados da análise energética obtida no Solterm para o caso 3 e 4, respetivamente.

Antes de mais, convém justificar o porquê das somas do apoio nos casos 2 e 4 não corresponderem exatamente ao valor que o somatório anual indica. Isto deve-se ao programa arredondar os valores obtidos mensais para um número inteiro. No entanto, quando se realiza o somatório dos meses o programa só arredonda o valor final da soma.

Em todos os casos, o critério de otimização utilizado foi a redução do fornecimento de energia de apoio, de modo a aumentar a fração solar e a reduzir a necessidade de recorrer à rede para satisfazer as necessidades. No caso 1 a inclinação ótima dos coletores é 47° enquanto nos restantes casos é 44° . Os rendimentos dos sistemas são baixos, apresentando no primeiro caso 16% e no segundo 18% enquanto no 3º e 4º caso aumenta um pouco para os 19%. Isto deve-se ao desperdício existente nos meses mais quentes, em que as necessidades são satisfeitas facilmente devido a não existirem necessidades de aquecimento ambiente altas. Tudo isto faz com que cada um destes casos necessite de 348 kWh, 552 kWh, 441 kWh e 468 kWh de apoio da rede, respetivamente.

Resta agora apresentar a análise económica obtida. De acordo com o que foi apresentado no capítulo 2 relativamente ao aumento do preço da energia elétrica que tem ocorrido, verifica-se que desde 2001 até 2014 ocorreu um aumento médio anual na tarifa simples de 4,58%. Para o mesmo período verifica-se também através de dados consultados no PORDATA que a taxa de inflação média foi de 2,2%. Consideram-se ainda as seguintes características de operação e manutenção do sistema e do preço da energia substituída:

Operação e manutenção	
Vida útil	20 anos
Manutenção anual	0,2% do preço do sistema
Renovação de componentes	1,0% do preço do sistema
Valor residual (salvados)	7,0% do preço do sistema
Valorização da energia	
Preço da energia substituída	0,16 €/kWh (0,044 €/MJ)*

Figura 4.16 - Dados relativos à operação, manutenção do sistema e do preço da energia substituída.

Foram obtidos então os valores seguintes para o caso 1 e 2:

SolTerm 5.1 - Análise de desempenho e pré-dimensionamento de Sistemas Solares

Relatórios Editores Configuração Informações Terminar

[Solar fotovoltaico]

Clima e local

Sistemas térmicos

Análise energética

Análise económica

Benefícios ambientais

Investimentos

Área do painel 13,6 m²

Preço do sistema solar: 10369 €

Componente fixa 10369 €

Componente variável 0 € / m²

Incentivos: 0 €

Componente fixa 0 €

Componente variável 0 € / m²

Operação e manutenção

Vida útil 20 anos

Manutenção anual 0,2% do preço do sistema (21 €)*

Renovação de componentes 1,0% do preço do sistema (104 €)*

Valor residual (salvados) 7,0% do preço do sistema (726 €)*

Valorização da energia

Preço da energia substituída 0,160 €/kWh (0,044 €/MJ)*

Custo da energia solar produzida 0,079 €/kWh (0,022 €/MJ)*

Cenário financeiro sobre 20 anos

Inflação 2,2% ao ano

Deriva do preço da energia substituída 2,4% acima da inflação

Rendimento de aplicação financeira segura 2,5% ao ano

Analisar interesse quando...

☒ há capital disponível para investir

☐ é necessário um empréstimo bancário

Sistema solar

Compra do sistema: -10369 €

Manutenção: -525 €

Reparações: -132 €

Custos de energia (apoio): -1763 €

(Custos de energia evitados: 20529 €)

De reinvestimentos: 4580 €

Valor residual: 1122 €

Balanço final: -11668 € (-7550 €)*

Alternativa

Aplicação de capital: -10369 €

Custos de energia: -22292 €

Rendimentos: 6622 €

Restituição do capital: 10369 €

Balanço final: -15671 € (-10141 €)*

Vantagem: 4003 € (2590 €)*

Instalação de sistema solar compensadora (nestas condições).

Optimização económica

* a preços

Licenciado a |

SolTerm 5.1 - Análise de desempenho e pré-dimensionamento de Sistemas Solares

Relatórios Editores Configuração Informações Terminar

[Solar fotovoltaico]

Clima e local

Sistemas térmicos

Análise energética

Análise económica

Benefícios ambientais

Investimentos

Área do painel 11,3 m²

Preço do sistema solar: 9299 €

Componente fixa 9299 €

Componente variável 0 € / m²

Incentivos: 0 €

Componente fixa 0 €

Componente variável 0 € / m²

Operação e manutenção

Vida útil 20 anos

Manutenção anual 0,2% do preço do sistema (19 €)*

Renovação de componentes 1,0% do preço do sistema (93 €)*

Valor residual (salvados) 7,0% do preço do sistema (651 €)*

Valorização da energia

Preço da energia substituída 0,160 €/kWh (0,044 €/MJ)*

Custo da energia solar produzida 0,075 €/kWh (0,021 €/MJ)*

Cenário financeiro sobre 20 anos

Inflação 2,2% ao ano

Deriva do preço da energia substituída 2,4% acima da inflação

Rendimento de aplicação financeira segura 2,5% ao ano

Analisar interesse quando...

☒ há capital disponível para investir

☐ é necessário um empréstimo bancário

Sistema solar

Compra do sistema: -9299 €

Manutenção: -471 €

Reparações: -118 €

Custos de energia (apoio): -2809 €

(Custos de energia evitados: 19483 €)

De reinvestimentos: 4356 €

Valor residual: 1006 €

Balanço final: -11692 € (-7566 €)*

Alternativa

Aplicação de capital: -9299 €

Custos de energia: -22292 €

Rendimentos: 5938 €

Restituição do capital: 9299 €

Balanço final: -16354 € (-10583 €)*

Vantagem: 4662 € (3017 €)*

Instalação de sistema solar compensadora (nestas condições).

Recuperação do capital ao 20º ano

Optimização económica

* a preços

Licenciado a |

Figura 4.17 - Análise económica sistema solar térmico com coletores planos.

Verifica-se que para uma vida útil de 20 anos, a instalação dos sistemas é compensadora, porém estes apresentam valores altos de recuperação do capital investido (20 anos).

Já para o caso 3 e 4 os resultados obtidos foram:

SolTerm 5.1 - Análise de desempenho e pré-dimensionamento de Sistemas Solares

Relatórios Editores Configuração Informações Terminar [Solar fotovoltaico]

Clima e local | Sistemas térmicos | Análise energética | **Análise económica** | Benefícios ambientais

Investimentos

Área do painel 11,4 m²

Preço do sistema solar: **6279 €**

Componente fixa 6279 €

Componente variável 0 €/m²

Incentivos: **0 €**

Componente fixa 0 €

Componente variável 0 €/m²

Operação e manutenção

Vida útil 20 anos

Manutenção anual 0,2% do preço do sistema (13 €)*

Renovação de componentes 1,0% do preço do sistema (63 €)*

Valor residual (salvados) 7,0% do preço do sistema (440 €)*

Valorização da energia

Preço da energia substituída 0,160 €/kWh (0,044 €/MJ)*

Custo da energia solar produzida 0,049 €/kWh (0,014 €/MJ)*

Cenário financeiro sobre 20 anos

Inflação 2,2% ao ano Deriva do preço da energia substituída 2,4% acima da inflação

Rendimento de aplicação financeira segura 2,5% ao ano

Analisar interesse quando...

☒ há capital disponível para investir

☐ é necessário um empréstimo bancário

Sistema solar	Alternativa
Compra do sistema: -6279 €	Aplicação de capital: -6279 €
Manutenção: -318 €	
Reparações: -80 €	
Custos de energia (apoio): -2238 € (Custos de energia evitados: 20054 €)	Custos de energia: -22292 €
De reinvestimentos: 4536 €	Rendimentos: 4010 €
Valor residual: 679 €	Restituição do capital: 6279 €
Balanço final: -8236 € (-5330 €)*	Balanço final: -18283 € (-11831 €)*

Vantagem: 10047 € (6501 €)*

Instalação de sistema solar compensadora (nestas condições).

Recuperação do capital ao 15º ano

Optimização económica

* a preços

Licenciado a |

SolTerm 5.1 - Análise de desempenho e pré-dimensionamento de Sistemas Solares

Relatórios Editores Configuração Informações Terminar [Solar fotovoltaico]

Clima e local | Sistemas térmicos | Análise energética | **Análise económica** | Benefícios ambientais

Investimentos

Área do painel 11,4 m²

Preço do sistema solar: **5588 €**

Componente fixa 5588 €

Componente variável 0 €/m²

Incentivos: **0 €**

Componente fixa 0 €

Componente variável 0 €/m²

Operação e manutenção

Vida útil 20 anos

Manutenção anual 0,2% do preço do sistema (11 €)*

Renovação de componentes 1,0% do preço do sistema (56 €)*

Valor residual (salvados) 7,0% do preço do sistema (391 €)*

Valorização da energia

Preço da energia substituída 0,160 €/kWh (0,044 €/MJ)*

Custo da energia solar produzida 0,044 €/kWh (0,012 €/MJ)*

Cenário financeiro sobre 20 anos

Inflação 2,2% ao ano Deriva do preço da energia substituída 2,4% acima da inflação

Rendimento de aplicação financeira segura 2,5% ao ano

Analisar interesse quando...

☒ há capital disponível para investir

☐ é necessário um empréstimo bancário

Sistema solar	Alternativa
Compra do sistema: -5588 €	Aplicação de capital: -5588 €
Manutenção: -283 €	
Reparações: -71 €	
Custos de energia (apoio): -2376 € (Custos de energia evitados: 19916 €)	Custos de energia: -22292 €
De reinvestimentos: 4515 €	Rendimentos: 3569 €
Valor residual: 604 €	Restituição do capital: 5588 €
Balanço final: -7714 € (-4992 €)*	Balanço final: -18724 € (-12116 €)*

Vantagem: 11010 € (7125 €)*

Instalação de sistema solar compensadora (nestas condições).

Recuperação do capital ao 13º ano

Optimização económica

* a preços

Licenciado a |

Figura 4.18 -Análise económica sistema solar térmico com coletores de tubo de vácuo.

Nestes casos a recuperação de capital dá-se mais cedo, 15 e 13 anos para caso 3 e 4, respetivamente. Estes valores devem-se ao facto destes kits serem mais baratos do que os

utilizados nos casos 1 e 2. No entanto importa realçar que nem sempre os *kits* compostos por coletores planos são mais baratos do que *kits* compostos por tubos de vácuo, este é um caso particular. De seguida são sintetizados os resultados obtidos para todos os casos analisados de modo a ser mais fácil fazer a sua discussão:

Tabela 4.6 - Síntese de resultados obtidos.

	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
Energia fornecida (kWh)	4047	3843	3954	3926
Energia de apoio (kWh)	348	552	441	468
Recuperação capital investido (nº anos)	20	20	15	13
Retorno financeiro ao fim de 20 anos (€)	4003	4662	10047	11010

Apesar de o caso 1 e 3 apresentarem maiores valores de energia fornecida entendeu-se que seria melhor optar pelo caso 4 como sistema solar térmico a implementar no edifício. No caso 1 a recuperação de capital demora muitos anos, o investimento inicial é maior e o retorno financeiro ao fim de 20 anos é mais baixo comparando com os outros casos. Já o caso 4 é aquele em que o retorno é maior e a recuperação do capital investido se dá mais rapidamente (13 anos). Apesar de no caso 4 ser necessária uma maior quantidade de energia de apoio em relação ao caso 1 e 3, este valor não é alto e será ainda menor quando for implementada a bomba de calor no edifício (subcapítulo seguinte). Por último, o caso 2 não é aqui comparado por ser o pior resultado obtido nas análises efetuadas.

4.3 Bomba de calor

A inserção de uma bomba de calor neste estudo tem o intuito de apoiar a produção de águas quentes sanitárias e aquecimento ambiente, bem como diminuir os gastos energéticos associados ao arrefecimento do edifício. Esta, devido ao seu elevado COP consegue fazer com que os gastos elétricos totais associados a estas necessidades diminuam (juntando aquecimento e arrefecimento) entre 3 a 4 vezes.

De acordo com o que já foi dito anteriormente foi feita uma tabela que sintetiza as necessidades de aquecimento e arrefecimento que faltam ser colmatadas:

Tabela 4.7 - Síntese de necessidades de aquecimento e arrefecimento que faltam colmatar em kWh.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Aquecimento	160	69	54	6	0	0	0	0	0	0	47	133	469
Arrefecimento	0	0	0	0	0	12	140	124	35	1	0	0	312
Total de gastos	160	69	54	6	0	12	140	124	35	1	47	133	781

É possível verificar que entre Novembro e Março a bomba será útil unicamente para aquecimento enquanto entre Junho e Outubro esta será utilizada para apoiar o arrefecimento.

Neste estudo optou-se por fazer uma pesquisa sobre qual o tipo de bomba existente no mercado se adapta melhor ao edifício dimensionado. Optou-se que o melhor seria escolher uma

bomba calor ar-água não só por ser o mais utilizado mas também porque o ar é o recurso que se tem a certeza que está disponível no exterior do edifício. Assim, a bomba será colocada no exterior do edifício sendo que a sua função será extrair calor do ar ambiente no Inverno, aumentando a temperatura dos tubos de refrigerante, trazendo assim esse calor para a unidade interior, enquanto no Verão o processo é invertido de modo a baixar a temperatura no circuito de água.

Foram comparados vários equipamentos existentes disponíveis em catálogos de duas marcas diferentes (Carrier e Daikin), que se encontram na imagem seguinte.

Bomba de Calor Ar Água tipo Split		Aquecimento e Arrefecimento			
Unidade Interior		80AW1--X	80AW1--X	80AW2--X	80AW2--X
Unidade Exterior (BC)		38AW050H7	38AW065H7	38AW090H7	38AW115H7
Capacidade de Arrefecimento Nominal	Kw	4,23	5,59	7,88	9,00
Capacidade de Arrefecimento Nominal	Kw	0,76	1,03	2,15	2,46
Capacidade de Arrefecimento Máxima	Kw	5,62	7,55	11,4	13,02
Potência absorvida nominal	Kw	1,16	1,53	1,95	2,37
E.E.R.	W/W	3,65	3,65	4,05	3,80
Classe de eficiência energética (Modo arrefecimento)		A	A	A	A
Capacidade de Aquecimento Nominal	Kw	5,00	6,53	9,10	11,50
Capacidade de Aquecimento Mínimo	Kw	1,17	0,86	1,61	1,77
Capacidade de Aquecimento Máximo	Kw	5,86	8,81	14,75	15,43
Potência absorvida nominal	Kw	1,13	1,51	2,07	2,71
C.O.P.	W/W	4,41	4,32	4,40	4,24
Classe de eficiência energética (Modo aquecimento)		A	A	A	A

Outdoor Unit – C series			ERLQ004CV3	ERLQ006CV3	ERLQ008CV3	ERLQ011CV3	ERLQ014CV3	ERLQ016CV3
Dimensions	H x W x D	mm	735 x 832 x 307			1345 x 900 x 320		
Nominal Capacity	Heating	kW	4,4	6,0	7,4	11,2	14,5	16,0
	Cooling	kW	4,17	4,84	5,36	11,72	12,55	13,12
Nominal Input	Heating	kW	0,87	1,27	1,66	2,43	3,37	3,76
	Cooling	kW	1,8	2,07	2,34	4,31	5,08	5,73
COP (Heating)			5,04	4,74	4,45	4,60	4,30	4,25
EER (Cooling)			2,32	2,34	2,29	2,72	2,47	2,29

Figura 4.19 - Bombas de calor Carrier (em cima) e Daikin (em baixo).

Escolher a bomba é um processo importante. De modo a não sobredimensionar o sistema e a evitar gastos exagerados, tem de ser feito um estudo sobre qual destas é a mais indicada, sendo que as que têm menor potência serão, consequentemente, mais baratas. Elaborou-se então uma tabela de modo a perceber quais as necessidades médias diárias de aquecimento e arrefecimento em cada mês.

Tabela 4.8 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento médias diárias ao longo do ano em kWh.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Total de gastos médios diários (kWh)	5,2	2,5	1,7	0,2	0,0	0,4	4,5	4,0	1,2	0,0	1,6	4,3

No que se refere a aquecimento, verifica-se que Janeiro é o mês em que é necessário um maior apoio com uma média de 5,2 kWh diários. Já o mês de Julho, pelo contrário, é aquele que necessita de de maior arrefecimento com uma média diária de 4,5 kWh.

Comparando estes valores com as bombas de calor disponíveis para escolha verifica-se que qualquer bomba, das duas marcas, serve para suprir estas necessidades. Apesar de os valores apresentados serem valores médios, ou seja, existe sempre a possibilidade de ocorrerem dias em que as necessidades podem variar um pouco, tal variação não é significativa. Isto ocorre sobretudo devido a dois fatores. Primeiro as necessidades de arrefecimento são baixas e por outro lado, o sistema solar térmico cobre quase todas as necessidades de aquecimento, sendo que a bomba será utilizada só para prestar um pequeno apoio.

Posto isto, foi escolhida uma bomba de cada marca (as que têm menor potência) e com base nas suas características proceder-se-á à escolha.

Tabela 4.9 - Características das bombas de calor escolhidas.

Bomba de calor	Carrier	Daikin
Identificação	38AW050H7	ERLQ004CV3
COP	4,41	5,04
ERR	3,65	2,32

Dividindo as necessidades obtidas na tabela 4.7 pelos COP's e ERR's das bombas escolhidas é possível elaborar uma tabela que permite perceber qual destas deverá ser escolhida e qual a poupança energética anual feita com a implementação do equipamento em kWh/ano.

Tabela 4.10 - Resultados obtidos na comparação de duas bombas diferentes em kWh.

	Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total	Poupança
Carrier	Aquec.	36,3	15,6	12,2	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7	30,2	106,3	362,7
	Arrefe.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	38,3	34,0	9,6	0,2	0,0	0,0	85,5	226,6
	Total	36,3	15,6	12,2	1,4	0,0	3,4	38,3	34,0	9,6	0,2	10,7	30,2	191,8	589,2
Daikin	Aquec.	31,7	13,7	10,7	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,3	26,4	93,1	375,9
	Arrefe.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	60,3	53,5	15,1	0,3	0,0	0,0	134,5	177,5
	Total	31,7	13,7	10,7	1,2	0,0	5,3	60,3	53,5	15,1	0,3	9,3	26,4	227,5	553,5

Verifica-se que a bomba que permite fazer uma poupança maior, de acordo com as necessidades deste edifício, é a da Carrier. Apesar da outra bomba permitir fazer uma maior poupança no que toca a aquecimento (pelo facto de ter um COP maior), esta permite fazer uma maior poupança global (pelo facto de possuir um ERR relativamente maior e aliar esse facto a um bom valor de COP), fazendo com que se consiga poupar 589,2 kWh num total de 781 kWh tendo assim a capacidade de reduzir as necessidades que faltavam ser supridas de aquecimento e arrefecimento anuais para apenas 191,8 kWh anuais.

4.3.1 Análise económica

Provou-se que a bomba de calor é sem dúvida um equipamento eficiente que pode ajudar a reduzir as necessidades energéticas de um edifício. No entanto resta fazer uma análise económica para perceber se é viável para o utilizador instalar uma bomba num edifício NZEB.

Após a realização de um estudo de mercado verificou-se que o preço dos sistemas estudados são de 4198€ para a Daikin e 4111€ para Carrier, sendo que em ambos os casos este preço inclui unidade exterior e interior. Deste modo o sistema mais rentável é sem dúvida o da Carrier por ter um custo menor e por permitir fazer uma maior poupança.

No entanto, relacionando a poupança anual que o sistema faz (589,2 kWh) e o preço total do sistema, verifica-se que aos preços atuais que a energia se encontra, este sistema acaba por não ser compensatório a nível económico a médio prazo. O preço atual do kWh situa-se aproximadamente nos 0,16€ o que faz com que a poupança anual que o sistema proporciona se situe aproximadamente em 94,3€ no primeiro ano.

Considerando um aumento médio anual de 4,58% no custo da energia elétrica, este sistema fica pago durante 25º ano (excluindo manutenção). Este valor é alto uma vez que muito dificilmente o sistema terá uma vida útil tão longa e deve-se sobretudo aos baixos valores de energia que o sistema necessita de colmatar.

4.4 Sistema solar fotovoltaico

Como já foi dito e justificado no subcapítulo relativo ao sistema solar térmico existem duas fileiras disponíveis para implementação de módulos solares fotovoltaicos. O objetivo principal da implementação deste sistema é o facto de permitir reduzir a dependência elétrica do edifício da rede, tornando-se assim mais autónomo.

No capítulo 3 foram calculadas as necessidades elétricas anuais do edifício como consequência da simulação energética feita. No entanto, após se ter integrado na moradia a bomba de calor, essas necessidades necessitam de ser retificadas, pois é mais um equipamento em funcionamento. O edifício tem assim as seguintes necessidades elétricas:

Tabela 4.11 - Gastos elétricos totais do edifício.

	Gastos elétricos Mensais (kWh)												Total
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Gastos gerais	295,6	267	295,6	286,1	295,6	286,1	295,6	295,6	286,1	295,6	286,1	295,6	3480,8
Bomba de calor	36,3	15,6	12,2	1,4	0,0	3,4	38,3	34,0	9,6	0,2	10,7	30,2	191,8
Total	331,9	282,6	307,8	287,5	295,6	289,5	333,9	329,6	295,7	295,8	296,8	325,8	3672,6

Uma vez obtidas as cargas, resta adicioná-las no programa. Estas podem ser definidas de acordo com o perfil de cada utilizador, sendo que se podem usar cargas diferentes aos dias de semana e fins-de-semana como representado na figura seguinte:

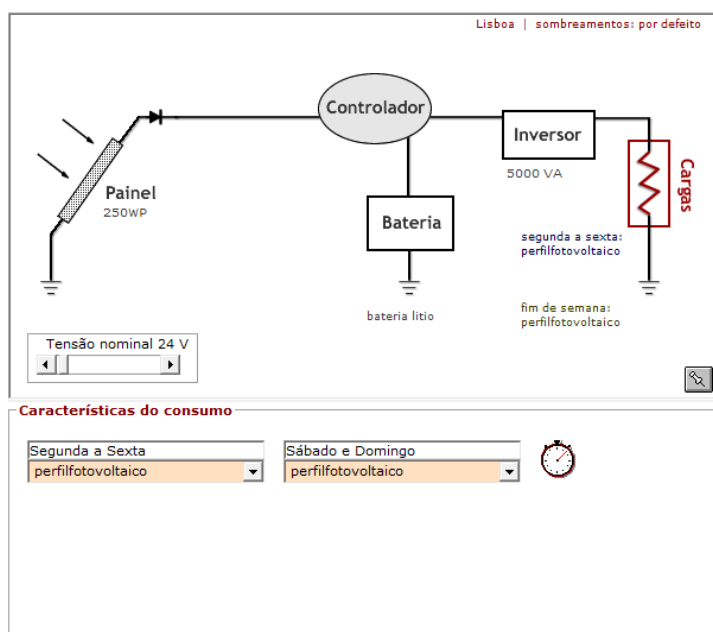


Figura 4.20 - Interface SolTerm fotovoltaico.

Tal como no dimensionamento do sistema solar térmico têm de ser especificados os perfis de consumo dos utilizadores. Tal como definido anteriormente para o aquecimento ambiente, decidiu-se que a carga iria ser repartida pelas 24 horas do dia de modo a facilitar a inserção de cargas no programa e para não beneficiar mais um intervalo de horas em relação a outro.

Para introduzir as cargas têm de se converter as unidades que foram obtidas anteriormente para o formato aceite pelo programa. Podem-se obter os valores fazendo o seguinte cálculo para cada um dos meses:

$$C_{hx} = \frac{G_x \times 1000}{n_{dx} \times 24} [Wh]$$

Equação 4.7 - Conversão de gastos mensais para gastos hora.

Em que G_x representa os gastos elétricos no mês x em kWh e n_{dx} o número de dias desse mês. Relativamente aos valores fixos, a multiplicação da expressão por 1000 serve para converter o consumo energético de kWh para Wh. Por sua vez, a divisão da expressão por 24 tem a ver com o número de horas do dia. Convertendo os valores obtidos anteriormente, temos então os seguintes perfis de consumo:

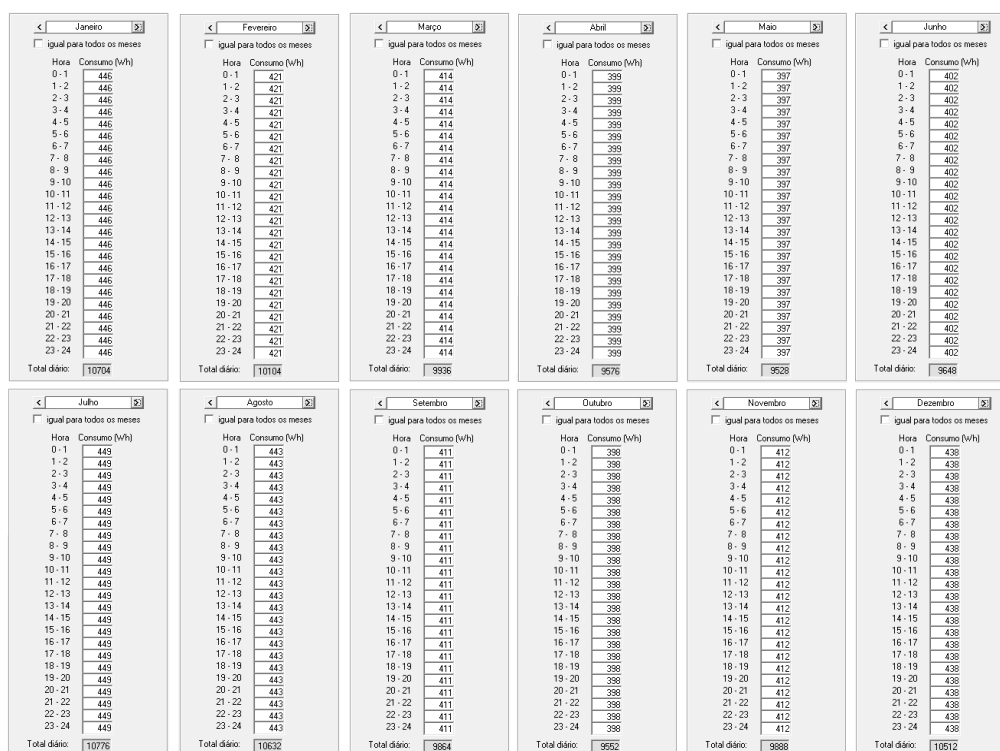


Figura 4.21 - Perfis de consumo relativos ao consumo elétrico no edifício.

Estando definidos os perfis de consumo, falta agora explicar qual o sistema a usar. O sistema escolhido é o típico: um conjunto de módulos solares que capta a energia solar e a transfere para baterias ou diretamente para uso doméstico, após ser convertida no inversor de corrente para corrente alternada. Pode-se ainda optar por vender o excedente produtivo à rede (quando energia não é consumida nem armazenada) e assim tirar proveito da energia produzida que não é utilizada, nunca esquecendo que existe um limite de venda atual que já foi explicado no capítulo 2. Na figura seguinte pode ser visto um esquema simples do sistema a usar.

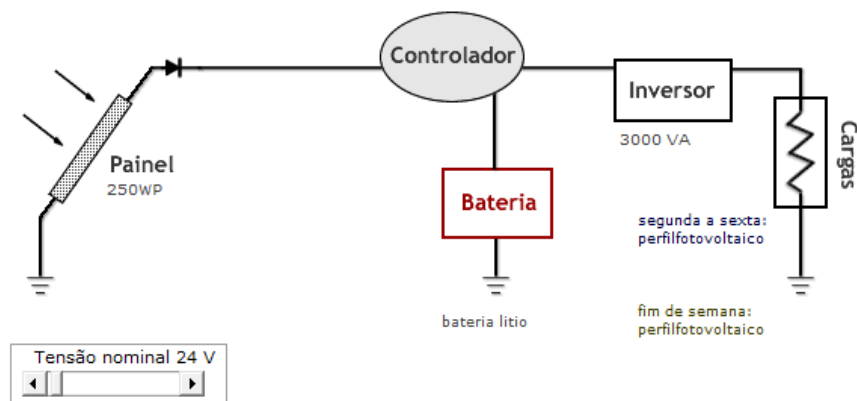


Figura 4.22 - Sistema solar fotovoltaico a implementar.

Na interface do painel necessita de ser especificada a tensão nominal a que opera o sistema, a tensão do modelo do módulo a usar, número de módulos que constituem o sistema, e orientação do painel.

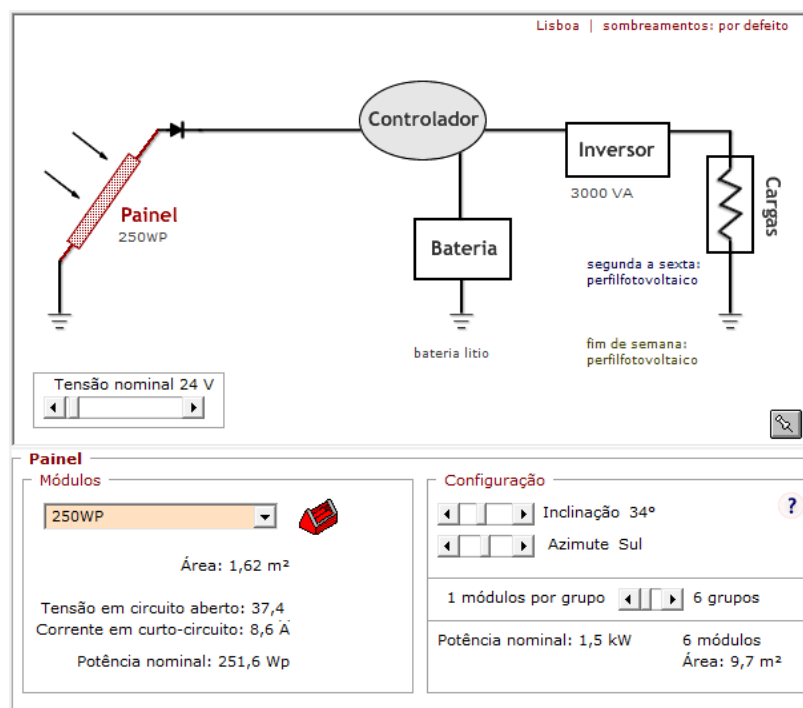


Figura 4.23 - Especificações módulos fotovoltaicos.

O número de módulos associados em série (grupos) é determinado pelas características do modelo de módulo e pela tensão nominal do sistema. O número destes grupos (associados em paralelo) é indicado pelo utilizador.

Para definir um novo módulo é necessário introduzir a tecnologia usada, a sua geometria e as características térmicas e elétricas respetivas.

Editor de módulos fotovoltaicos

em arquivo
250WP

Tecnologia
☐ Si amorfo
☒ Si monocristalino
☐ Si policristalino
☐ outra

Características geométricas
 Área: 1,62 m²

Características térmicas
 NOCT: 47 °C
 Sensibilidade à temperatura:
 da corrente: 0,050 A/°C
 da tensão: -0,340 V/°C

Características eléctricas
 Tensão nominal: 24,0 V
 Tensão @ potência máxima: 30,79 V
 Corrente @ potência máxima: 8,17 A
 Tensão @ circuito aberto: 37,41 V
 Corrente @ curto-circuito: 8,61 A
 Resistência das células @ paralelo: 840,0 Ω
 Resistência das células @ série: 0,382 Ω
 Número de células em série: 60
 Factor de idealidade da curva I-V: 1,3

apagar guardar sair

Figura 4.24 - Editor de módulos fotovoltaicos.

Num sistema como aquele que se pretende instalar é necessário também indicar como é feito o armazenamento, isto é, indicar o modelo e número de acumuladores a usar.

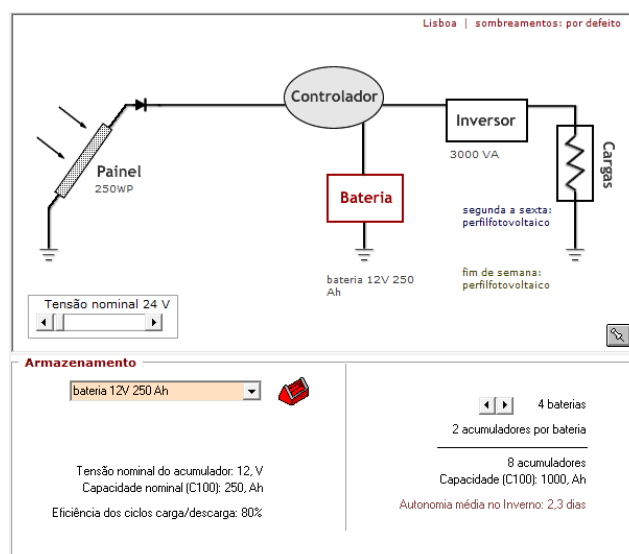


Figura 4.25 - Escolha do tipo de armazenamento que se pretende fazer.

O número de acumuladores agrupados em série (baterias) é determinado pela tensão nominal do sistema, sendo que quanto maior for a sua capacidade maior será a autonomia do sistema.

O modelo a usar pode ser ainda editado através da interface disponível no programa, de modo a introduzir as características construtivas e eléctricas fornecidas pelos fabricantes.

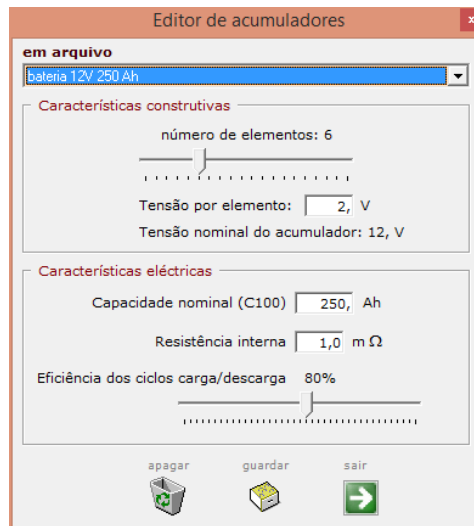


Figura 4.26 - Editor de acumuladores.

Por último, falta explicar a parte correspondente ao inversor. A ligação do sistema às cargas é sempre efetuada via inversor CC/CA. É possível simular um sistema CC/CA definindo e usando um inversor em que se atribuem os máximos de eficiência permitidos pelo SolTerm. Outras características de ligação à rede são assumidas internamente pelo programa.

Os modelos de inversores a usar podem ser editados diretamente, utilizando a interface do programa, sendo necessário introduzir a potência nominal e a eficiência nas condições mencionadas.

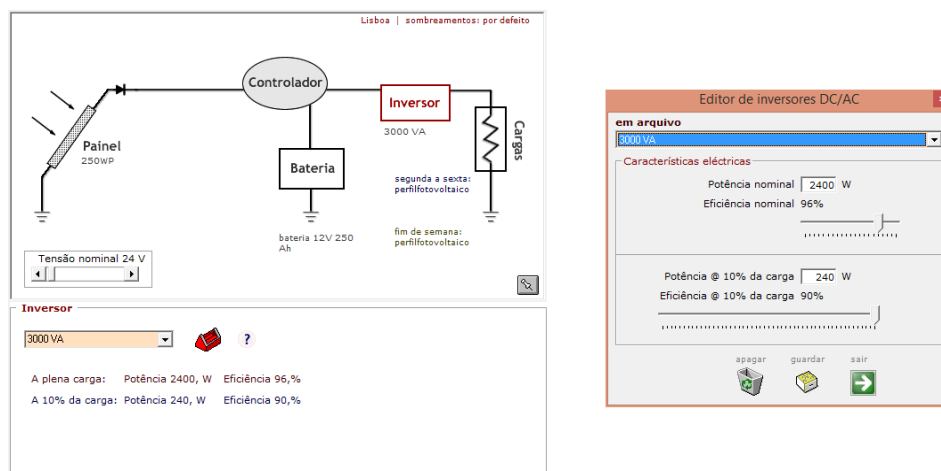


Figura 4.27 - Escolha do inversor e respetivo dimensionamento.

De acordo com o que se pretende instalar no edifício e tendo em conta que o projeto tem de ser economicamente viável, foi feita uma pesquisa no mercado de modo a perceber quais as ofertas existentes que contemplem todo o material necessário para a realização do projeto. Verificou-se que o tipo de inversor escolhido e a introdução de baterias pode aumentar consideravelmente o preço dos sistemas, tornando-se inviável proceder à compra isolada de equipamentos. De modo a não tornar o projeto inviável, tentou-se pesquisar sistemas que já incluíssem todos os equipamentos de modo a obter preços mais razoáveis. De seguida são apresentados 5 casos estudados que resultam da pesquisa efetuada:

Tabela 4.12 - Kits utilizados no estudo da implementação do sistema solar fotovoltaico.

	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Módulos	6 Módulos Luxor Eco Line 250 Wp de 24V	6 Módulos Luxor Eco Line 250 Wp de 24V	12 Módulos Luxor Eco Line 250 Wp de 24V
Inversor	MPPT 3000VA 24Vdc 230 Vac	MPPT 3000VA 24Vdc 230 Vac	MPPT 5000VA 48Vdc 230 Vac
Baterias	2 AGM de 12V e 250 Ah	4 AGM de 12V e 250 Ah	4 AGM de 12V e 250 Ah
Material adicional	Quadro de proteção; Estrutura de telhado ou plana; Cabos e fichas de ligação	Quadro de proteção; Estrutura de telhado ou plana; Cabos e fichas de ligação	Quadro de proteção; Estrutura de telhado ou plana; Cabos e fichas de ligação
Preço	3.750 €	4.750 €	6.400 €

	Caso 4	Caso 5
Módulos	12 Módulos Luxor Eco Line 250 Wp de 24V	14 Módulos Luxor Eco Line 250 Wp de 24V
Inversor	MPPT 5000VA 48Vdc 230 Vac	MPPT 5000VA 48Vdc 230 Vac
Baterias	8 AGM de 12V e 250 Ah	8 AGM de 12V e 250 Ah
Material adicional	Quadro de proteção; Estrutura de telhado ou plana; Cabos e fichas de ligação	Quadro de proteção; Estrutura de telhado ou plana; Cabos e fichas de ligação
Preço	7.750 €	8.250 €

Os módulos utilizados são os mesmos em todos os casos e foram escolhidos por terem uma boa relação qualidade-preço. Estes módulos têm as seguintes características:

Luxor Eco Line 250 Wp Monocristalino


	Principais Características	<ul style="list-style-type: none"> Tensão de operação STC (Vmp): 30,79 V Corrente de operação STC (Imp): 8,17 A Tensão de circuito aberto (Voc): 37,41 V Corrente de curto-circuito (Isc): 8,61 A Nº de Células: 60 Eficiência 15,46% Tolerância de potência: 0/+6,5Wp (positiva) Garantia produto contra defeitos de fabrico: 10 anos
	Tipo de Tecnologia	Monocristalino
	Tipo de Conector	MC4
	Dimensões	1640 x 992 x 45 mm
	Peso	19,5 kg
	Garantia	10 anos
	Garantia de Potência	90% potência mínima durante 12 anos 80% potência mínima durante 25 anos

Figura 4.28 - Características dos módulos fotovoltaicos usados. Fonte: [65].

Como os módulos têm 1,64 m de altura não existe problema na sua utilização uma vez que são inferiores a 2 m e assim respeitam o limite de altura que deve ser preservado de modo a evitar sombrear as fileiras que se encontram mais atrás. Já de largura têm 0,992 m, o que faz com que seja possível criar as duas fileiras de módulos que tinham sido faladas anteriormente

sem que haja problemas de espaço, uma vez que no caso 5 (caso que tem mais módulos fotovoltaicos associados) se usam 14 módulos, sendo que se separarem 7 módulos por cada fileira ainda sobra espaço no terraço para outras utilizações.

Quanto ao tipo de inversores, foram utilizados dois diferentes nas simulações (embora da mesma marca). Para o caso 1 e 2 é utilizado um inversor com 3000 VA, enquanto nos restantes casos foi utilizado um com 5000 VA. Algumas das características deste tipo de inversores podem ser vistas na figura abaixo:

Specifications			
Model		AX 3K48	AX 5K48
Rated power	VA	3000	5000
	W	2400	4000
PV input (DC)	Maximum PV power	900W	3000W
	MPP voltage range at full load	60 ~ 88VDC	60 ~ 115VDC
	Max open circuit voltage	102VDC	145VDC
	Maximum PV current	18A	60A
	Maximum efficiency	98%	
AC-input	AC rated voltage	230VAC	
	AC-grid frequency range	50/60Hz automatic	

Figura 4.29 - Características inversores usados. Fonte: [66].

Estes inversores têm um controlador que verifica quais são as necessidades de consumo imediatas do edifício e qual a energia armazenada nas baterias em cada momento. Quando os módulos não fornecem energia necessária para suprir as necessidades do edifício, o dispositivo aciona automaticamente as baterias. Por sua vez, caso estas não tenham energia, o controlador dá ordem para se utilizar automaticamente a energia da rede para fazer face aos consumos [66].

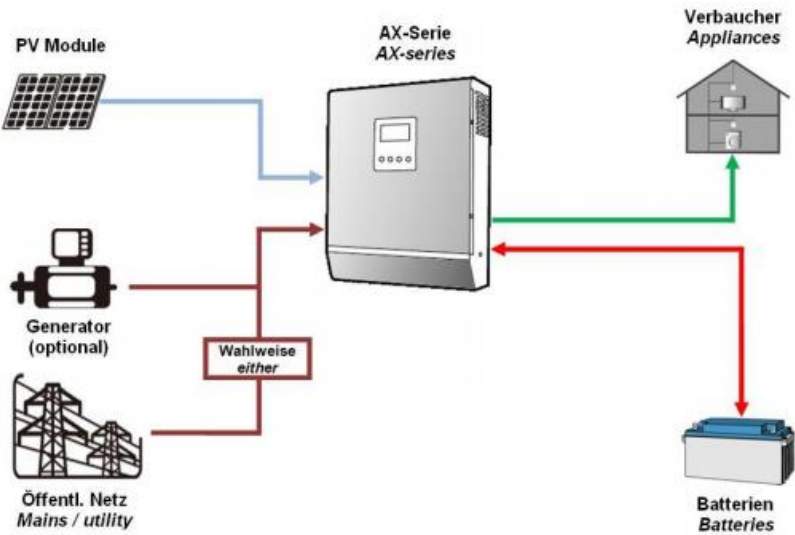


Figura 4.30 - Esquema de funcionamento do inversor. Fonte: [66].

Por último, o tipo de bateria escolhido foi AGM de 12 V e 250 Ah. Nas diferentes simulações as baterias usadas são as mesmas, só varia o número de baterias a instalar no sistema em cada caso. Estas baterias têm as seguintes características:



Bateria solar U-Power ciclo profundo AGM 250Ah

Características:

- Voltagem: 12V.
- Medidas: 518 x 274 x 242 mm.
- Peso: 59 Kg.
- Marca: U-Power.
- Tipo de bateria: AGM.
- Sem manutenção.
- Mais de 500 ciclos a 75% D.O.D. Mais de 1000 ciclos segundo IEC 61427.
- Capacidade em C100: 250Ah e em C10: 200Ah.
- Placa de separação entre células reforçadas.
- Placas ancoradas à prova de vibrações e golpes.
- Tecnologia AGM com eletrólito absorvido.
- Baixa auto descarga.
- Terminais de bateria em chumbo.
- Liga especial que assegura a resistência contra a corrosão das grelhas e a condutividade do material activo.
- Fabricadas de acordo com a certificação ISO 9002 e cumprindo os regulamentos CE e UL.
- Recipiente de material ABS resistente ao fogo.
- Garantia de 2 anos.

Figura 4.31 - Características da bateria utilizada nas simulações. Fonte [67].

Como o sistema é de 24 V e as baterias têm 12 V, estas têm de ser combinadas entre si em série, o que vai fazer com que a capacidade da bateria se mantenha mas a voltagem multiplicar-se-á, passando a ter no total 24 V. Por exemplo, se se combinarem duas baterias AGM de 250 Ah e 12 V, o resultado será uma bateria com capacidade total de 250 Ah e 24 V e o comportamento igual ao da figura abaixo.

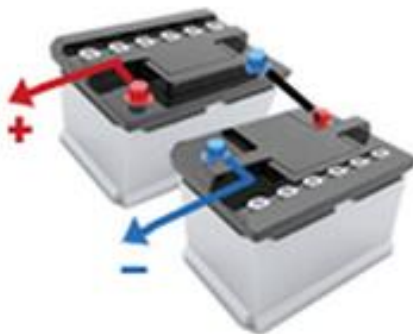


Figura 4.32 - Duas baterias ligadas em série.

Se se pretender usar mais que um bateria no sistema (caso 2,3,4 e 5) terá de se fazer uma conexão mista (em série e paralelo). Primeiro tem de se proceder à ligação em série das baterias. Por exemplo no caso de se querer combinar 4 baterias para um sistema de 24 V, como é pretendido nos casos 2 e 3, procede-se à ligação em série entre a primeira e segunda bateria, e entre a terceira e a quarta, obtendo dois grupos de baterias com 250 Ah e 24 V. De seguida terão de se ligar em paralelo um grupo com outro, obtendo então um conjunto com capacidade total de 500 Ah e 24 V.

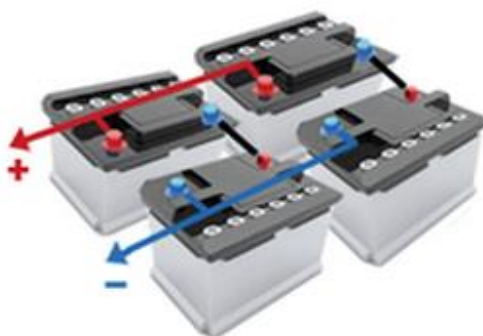


Figura 4.33 - Quatro baterias ligadas em série e em paralelo.

Para o caso 4 e 5, a ligação faz-se de forma análoga à apresentada anteriormente, mudando apenas a quantidade de baterias adicionadas.

Resta apenas referir que a partir do momento em que se define a tensão nominal do sistema e a tensão das baterias, o programa realiza todo este processo de forma automática.

De seguida foram adicionados os dados relativos ao equipamento a utilizar no programa, de modo a poder realizar-se a análise energética.

Os resultados obtidos para os 5 casos foram os seguintes:

- Caso 1

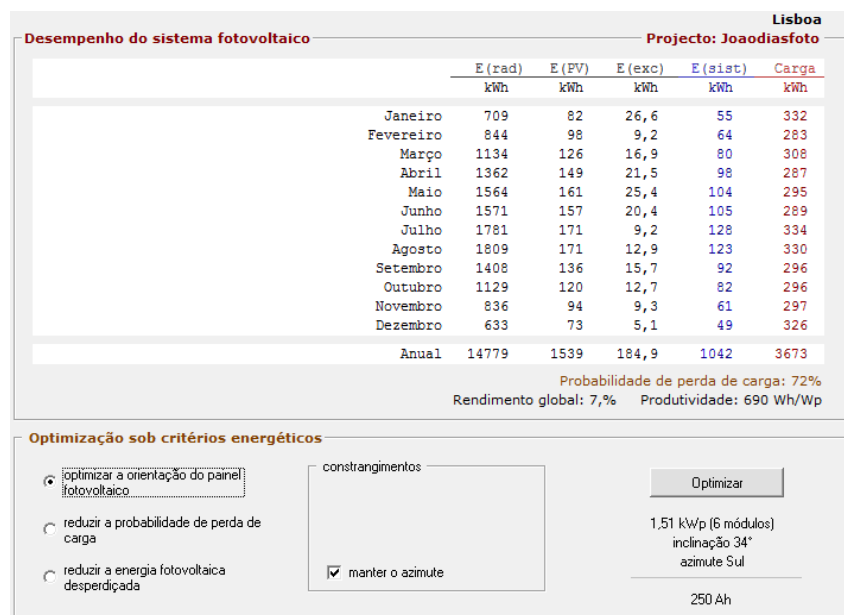


Figura 4.34 - Análise de desempenho do sistema fotovoltaico para o caso 1.

- Caso 2

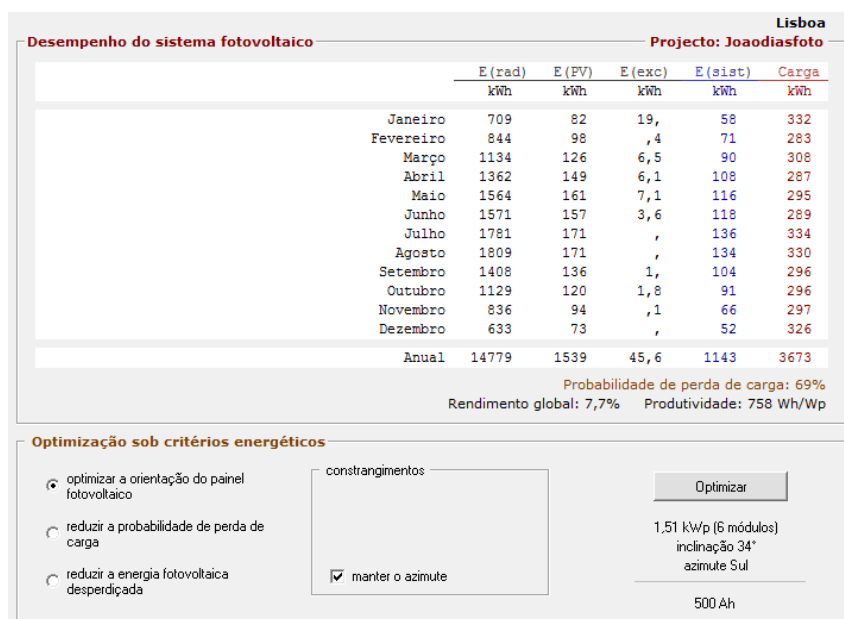


Figura 4.35 - Análise de desempenho do sistema fotovoltaico para o caso 2.

- Caso 3



Figura 4.36 - Análise de desempenho do sistema fotovoltaico para o caso 3.

- Caso 4

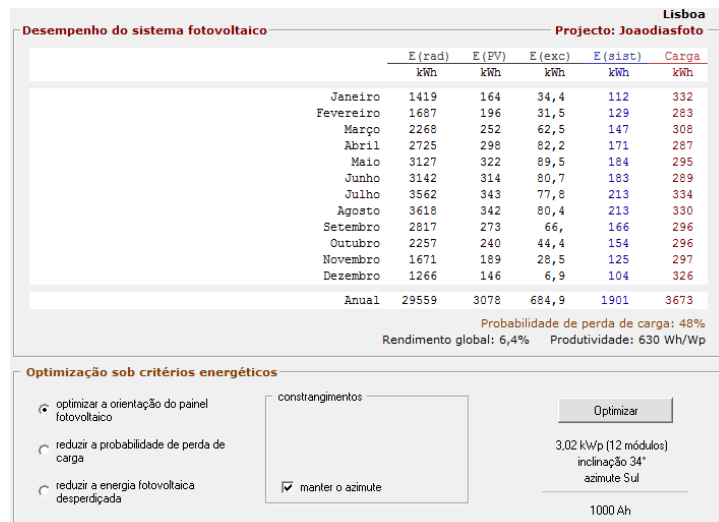


Figura 4.37 - Análise de desempenho do sistema fotovoltaico para o caso 4.

- Caso 5

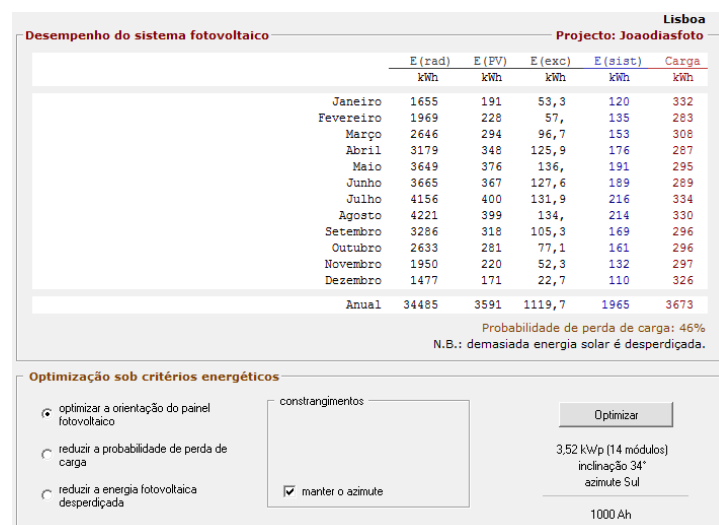


Figura 4.38 - Análise de desempenho do sistema fotovoltaico para o caso 5.

Numa primeira análise o que salta à vista são os altos valores obtidos para as probabilidades de perda de carga e o facto de se desperdiçar muita energia nestes sistemas.

A probabilidade de perda de carga tem a ver com o número de horas em que o sistema não pode atender à solicitação do consumo, expressa em percentagem do número de horas em que este é solicitado. Este valor indica a probabilidade de falha do sistema solar e aparece nos casos em que não existe gerador auxiliar que possa entrar em funcionamento. No manual do programa o valor que é sugerido para este tipo de sistemas varia entre 1% e 5%.

No entanto convém referir aqui dois fatores que fazem com que não haja preocupação neste caso. O primeiro fator é o facto de se ter dividido as cargas pelas 24 horas do dia, o que vai fazer com que grande parte dos consumos ocorram durante a noite (período em que não se produz energia elétrica). Por outro lado, quando se realiza a simulação o programa assume que este sistema funciona sem apoio (sistema autónomo isolado) para poder simular casos em que se pretende instalar sistemas isolados cujas condições de acesso à rede pública para apoiar o consumo não existem e casos como o que se pretende neste estudo, em que se pretende que a rede pública dê apoio ao sistema quando este necessita.

A razão pela qual se desperdiça muita energia nestes sistemas prende-se com o facto de não se utilizarem muitas baterias, não se maximizando assim o armazenamento de energia produzida. No entanto um investimento muito alto em baterias implica que o sistema possa ser inviável. Na pesquisa que se fez verificou-se que o preço de cada bateria usada neste estudo tem um custo no mercado de aproximadamente 300€. Como já se viu anteriormente, só se podem adicionar 2 baterias em séries de modo ao sistema ficar a funcionar corretamente, deste modo cada vez que se quer adicionar ao sistema 250 Ah (mínimo) de capacidade tem que se investir 600€, o que a preços atuais (considerando que o preço atual do kWh é aproximadamente 0,16€) equivale a 3750 kWh de energia, ou seja, mais do que o que se gasta anualmente no edifício.

No entanto realizou-se uma simulação adicional de modo a perceber qual o valor de energia que estas baterias adicionais conseguiriam armazenar. A simulação é idêntica à feita para o caso 5 tendo-se apenas adicionado duas baterias. Os resultados são os seguintes:

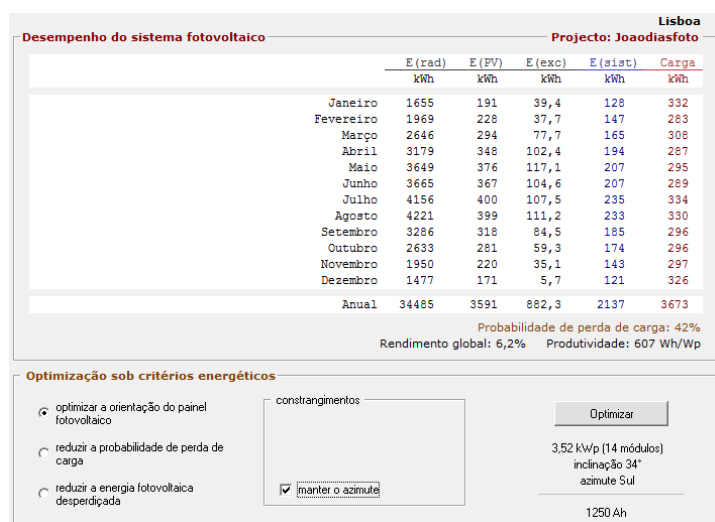


Figura 4.39 - Análise de um caso particular equivalente ao caso 5 mais duas baterias.

Verifica-se, mais uma vez, que o investimento feito não faz sentido, uma vez que se gastam mais 600€ e no total o sistema só consegue guardar mais 172 kWh anuais em relação ao caso 5, ou seja, proporciona uma poupança de 27,52€/ano (valores atuais), o que é baixo.

De seguida sintetizaram-se os valores obtidos numa tabela de modo a ser mais fácil a sua discussão:

Tabela 4.13 - Resumo dos resultados obtidos.

	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Energia produzida (kWh)	1539	1539	3078	3078	3591
Energia fornecida para consumo (kWh)	1042	1143	1536	1901	1965
Necessidades da rede (kWh)	2631	2530	2137	1772	1708

Em relação à energia produzida, os casos que apresentam maior produção são aqueles que também têm o maior número de módulos, como era de esperar. Apesar da produção nos 3 últimos casos ser bastante interessante, verifica-se que nem toda a energia é direcionada para o consumo, e isto deve-se ao facto de não existir uma armazenagem suficiente para a energia produzida pelos motivos já referidos anteriormente. Por outro lado as necessidades da rede resultam da diferença entre as necessidades totais do edifício (3673 kWh) e da energia aproveitada para consumo, representando assim a energia que o edifício terá de obter a partir da rede elétrica.

Falta agora referir a possibilidade de venda do excesso de energia produzida à rede. Esse excesso pode ser calculado subtraindo à energia produzida a energia que é fornecida para consumo.

Tabela 4.14 - Quantidade máxima de energia que pode ser vendida à rede.

	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Energia vendida à rede (kWh)	497	396	1542	1177	1626

Os valores associados à venda da energia produzida podem ser utilizados como forma de amortizar o investimento feito. Apesar do preço de venda não ser muito apelativo, a preços atuais o valor anual da energia vendida à rede pode ser calculado segundo a expressão seguinte, já referida no capítulo 2:

$$R_{UPAC} = E_{fornecida} \times OMIE \times 0,9$$

O valor do OMIE pode ser facilmente consultado na plataforma *online* do operador, disponível na internet.

RESULTADOS DEL MERCADO			
Mercado Diario - 19/08/2015			
	ES	€/MWh	PT
Precio medio aritmético	57.34		57.34
Precio mínimo/máximo	43.15 / 66.10		43.15 / 66.10
Precio medio anterior	55.93		55.93

Figura 4.40 - Valor do OMIE no dia 19 de Agosto de 2015 em €/MWh. Fonte: [68].

Existem agora condições para calcular o preço de venda anual de energia elétrica à rede, estando esses valores representados na tabela seguinte:

Tabela 4.15 - Valores resultantes da venda de energia à rede pública.

	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Valor da energia vendida à rede em €/ano	25,65	20,44	79,58	60,74	83,91

Uma vez calculados estes valores pode ser feita a análise económica global de modo a verificar se os sistemas instalados são ou não compensadores. De seguida vai ser explicado como se fez a análise para o caso 1, sendo que os outros cálculos são realizados de forma análoga a este.

Tabela 4.16 - Análise económica caso 1.

Ano	Abatimento no sistema €	Venda de energia à rede €	Energia consumida €
1	3750,00	25,65	166,72
2	3557,63	25,65	174,36
3	3357,63	25,65	182,34
4	3149,64	25,65	190,69
5	2933,30	25,65	199,43
6	2708,22	25,65	208,56
7	2474,02	25,65	218,11
8	2230,26	25,65	228,10
9	1976,51	25,65	238,55
10	1712,31	25,65	249,47
11	1437,19	25,65	260,90
12	1150,64	25,65	272,85
13	852,14	25,65	285,35
14	541,15	25,65	298,41
15	217,08	25,65	312,08
16	-120,65		

Na primeira coluna da tabela têm-se os anos que o sistema demora a ser pago. Na segunda coluna começa-se por ter o custo total do sistema, sendo que nas linhas seguintes são descontados os valores relativos à venda de energia à rede e os valores que se poupam ao consumir a energia que provém do sistema e não da rede pública.

Quanto à venda de energia à rede, como ainda não existe um histórico com alguns anos sobre a evolução de preços, optou-se por considerar sempre o mesmo valor. Já na energia consumida, considerou-se a evolução média registada entre 2001 e 2014, ou seja, um aumento médio de 4,58% ao ano.

Neste caso, o sistema fica pago durante o 15º ano. Já nos casos 2 e 5 os sistemas demoram 17 anos a estarem totalmente pagos enquanto no caso 3 e 4 o tempo diminui para 16 anos.

Para um sistema fotovoltaico estes tempos podem ser considerados um pouco altos devido a terem um tempo de vida útil inferior aos sistemas solares térmicos nunca se sabe se

realmente vão durar os anos que demoram a ser pagos e desse modo podem tornar-se um mau negócio para quem procura um projeto que também seja viável a nível económico. No entanto a nível ambiental é sempre um bom investimento, visto que evita que sejam lançados para atmosfera toneladas de poluentes de origem fóssil. Este é um problema maior que deveria ser tido em conta pelos governos de modo a serem criados fundos e incentivos que deem apoio à implementação destes sistemas.

Para finalizar, dos 5 casos estudados, concluiu-se que o 5º caso é aquele que mais se aproxima do que é pretendido para um NZEB, sendo portanto o sistema escolhido para se implementar no edifício. No total, este sistema consegue produzir 3591 kWh num ano, ou seja, é um valor muito próximo do que eram inicialmente as necessidades elétricas totais do edifício, 3673 kWh.

5 Conclusões

O objetivo principal desta dissertação foi modelar um edifício baseado em estratégias eficientes e tecnologias renováveis, de modo a aproximar o caso estudado a um edifício novo construído a partir de 2020 na Europa, ou seja, um NZEB.

Na primeira fase, do trabalho foi dimensionado um edifício de modo a avaliar o seu desempenho energético. Foi construído um modelo 3D através do *software* DesignBuilder e para a simulação energética do respetivo modelo utilizou-se o EnergyPlus.

Numa segunda fase, foram introduzidas tecnologias de produção de energia renovável que visavam não só a satisfação das necessidades energéticas do edifício como também reduzir as emissões de poluentes associadas à produção de energia. Nesta fase foram dimensionados sistemas térmicos e fotovoltaicos, que produzem energia renovável a partir do sol, com o apoio do *software* SolTerm e introduzida uma bomba de calor, que por ser uma tecnologia considerada renovável também foi utilizada.

De seguida são apresentados num quadro, o resumo de todos os resultados obtidos no decorrer do trabalho:

Tabela 5.1 - Quadro resumo de resultados obtidos ao longo do estudo realizado.

	SIMULAÇÃO ANUAL	
Gastos energéticos	kWh/ano	kWh/ano.m ²
Aquecimento	2337	14,7
Arrefecimento	312	2,0
AQS	2059	13,0
Elétricos totais	3481	21,9
Total	8189	51,5

Repara-se que o edifício necessita de 8189 kWh por ano de energia total para respeitar as condições de conforto que foram estabelecidas (temperatura interior entre 20 °C e 25 °C, requisitos de AQS e elétricos). Comparando estes valores com os valores *standards* definidos pelo *passivhaus* verifica-se que os valores sugeridos para casas eficientes são cumpridos. Tanto para aquecimento como arrefecimento os valores obtidos são inferiores a 15 kWh/ano.m². Já para o valor total, é sugerido que os gastos totais do edifício (incluem aquecimento, AQS, arrefecimento e gastos elétricos) não ultrapassem os 120 kWh/ano.m², valor que é respeitado em mais de metade com um total de 51,5 kWh/ano.m².

Estes baixos valores de necessidades energéticas devem-se sobretudo ao dimensionamento que se fez do edifício na primeira fase do trabalho. Em primeiro lugar a envolvente deve estar bem isolada de modo a diminuir os coeficientes de transmissão térmica, sem nunca comprometer a estrutura do edifício. Um correto dimensionamento da envolvente não só permite obter conforto como também reduz as necessidades energéticas do edifício, como se verificou.

Muito importante também são os envidraçados e o posicionamento das diferentes zonas do edifício. Deve-se encontrar um equilíbrio entre ambos para tentar otimizar ganhos energéticos de Inverno e Verão de modo a reduzir as necessidades de aquecimento e arrefecimento que podem ou não ser prejudiciais fruto desse dimensionamento.

Por outro lado, existem fatores que por muito eficiente que o edifício seja vão prejudicar a sua performance energética, como é o caso da ventilação natural na estação de aquecimento e a permeabilidade ao ar (no caso de não se ter atenção a este fator). O primeiro caso deve-se ao facto de se ter que renovar o ar de acordo com normas de modo a não prejudicar quem habita no edifício. Esse facto faz com que na estação de aquecimento se esteja constantemente a perder ar quente do edifício e admitir ar frio, que necessita de ser aquecido até se atingir os padrões de conforto. Neste estudo, este é o fator que mais peso tem quanto a perdas energéticas no edifício. Por outro lado, a permeabilidade que o edifício tem ao ar é também um fator que pode implicar grandes perdas. Este fator não pode ser esquecido quando se constrói um edifício, devendo ser fiscalizado no fim da construção, sendo que ainda pode ser mais prejudicial que a ventilação natural no que dita a perdas.

Na segunda fase do estudo começou por se integrar um sistema solar térmico de modo a tentar suprir ao máximo as necessidades de aquecimento ambiente e de AQS. Com o sistema implementado foi possível colmatar quase todas as necessidades ficando apenas por suprir 469 kWh ano de um total de 4396 kWh, ou seja, aproximadamente 10,7% do total.

De seguida foi adicionada a bomba de calor. Devido à sua implementação, parte dos gastos com aquecimento e AQS (469 kWh) e os gastos de arrefecimento (312 kWh) passaram a ser supridos pela bomba originando uma poupança total de 589 kWh. Deste modo os gastos elétricos aumentaram (192 kWh), face às necessidades inerentes ao processo de funcionamento da bomba aumentando as necessidades elétricas totais para 3673 kWh.

Por último foi adicionado o sistema solar fotovoltaico. Este sistema consegue produzir 3591 kWh por ano de energia elétrica, no entanto só 1965 kWh são utilizados para consumo pois não existe capacidade no sistema escolhido para armazenar toda a energia produzida. Assim, existe um excedente que pode ser vendido à rede, que neste caso é 1626 kWh, tendo o edifício que recorrer à rede elétrica para conseguir atingir o valor de 3673 kWh de necessidades elétricas, ou seja, 1708 kWh para que funcione segundo o dimensionamento feito.

Depois de introduzidos e estudados todos os sistemas é possível resumir os dados obtidos numa tabela de modo a perceber se o edifício é ou não um NZEB.

Tabela 5.2 - Gastos energéticos vs Produção energética.

kWh/ano	Gastos energéticos	Produção de energia
Aquecimento + AQS	3927	3926
Elétricos totais	3673	3591
Total	7600	7517

Com a introdução da bomba de calor, parte dos gastos de aquecimento e os gastos totais de arrefecimento (781 kWh) passam para gastos elétricos (192 kWh) daí o valor total de gastos

energéticos ter descido no total 589 kWh, que é o valor da poupança efetuada com o equipamento.

Pode-se concluir, de acordo com as tecnologias renováveis instaladas e com estes valores que este edifício é um edifício de balanço energético próximo do zero pois a procura e a oferta energéticas são quase equivalentes.

No entanto falta ainda referir o aspeto económico, importante na altura de implementar os sistemas usados. Cada um dos sistemas escolhidos custa 5588€, 4111€ e 8250€ (solar térmico, bomba de calor e solar fotovoltaico, respetivamente) o que totaliza em 17949€ o investimento feito.

Quanto ao sistema solar térmico, este não deixa dúvidas quanto à sua viabilidade. Segundo as simulações feitas, ao fim de 13 anos este sistema já se encontra pago e considerando um tempo de vida útil do sistema de 20 anos este investimento acaba por gerar um retorno de 11010€ com a poupança que permite fazer.

No entanto, em relação ao investimento feito para a bomba de calor não se pode dizer que este seja um bom investimento. A bomba tem um custo de 4111€ e só permite fazer uma poupança anual de 94,3€, só ficando paga ao fim de 25 anos se se considerar o aumento médio do preço do kWh que se tem registado. Este conjunto de valores faz com que não seja muito apelativo a introdução deste equipamento neste caso específico (em termos económicos) uma vez que muito dificilmente ficará pago no seu tempo de vida útil. Por último resta dizer que este tipo de sistemas deve evoluir mais no sentido de vir a ser integrado em edifícios com necessidades energéticas quase nulas. As bombas de calor existentes no mercado, apesar de terem atualmente bons valores de COP e ERR estão sobredimensionadas a nível de potência para utilização nestes edifícios e isso torna mais cara a sua aquisição e mais difícil a sua rentabilidade, nunca esquecendo que do ponto de vista ambiental são sempre uma boa escolha.

O sistema fotovoltaico é aquele que é mais caro, representando no total um investimento de 8250€. Considera-se que este sistema tem uma boa capacidade produtiva, no entanto o facto de não ter mais baterias devido a estas terem um preço elevado faz com que muita da energia produzida tenha que ser reencaminhada para a rede elétrica a troco de remunerações baixas. Este investimento é considerado um investimento de risco, isto é, em princípio com manutenção e cuidados adequados o sistema consegue durar os anos necessários sem nunca haver certezas.

No entanto, se analisarmos globalmente os resultados obtidos conclui-se que a integração destes sistemas é positiva, muito por culpa do sistema solar térmico que gera um retorno de 11010€ a 20 anos e o investimento feito na bomba e no sistema fotovoltaico é de 12361€, ficando estes sistemas quase pagos com o lucro que o primeiro sistema gera.

Por outro lado, um NZEB tem como fundamentos a preocupação ambiental e este modelo assegura isso mesmo pelos valores de energia que produz a nível global, necessitando apenas da rede para suprir um valor mínimo de kWh de necessidades anuais, reduzindo assim as emissões de poluentes que seriam feitas no caso do edifício não possuir sistemas de produção de energia baseados em fontes renováveis.

5.1 Trabalho futuro

Seria interessante que fosse feito um estudo idêntico ao que se fez nesta dissertação mas em que as diferentes fases do projeto fossem realizadas por estudantes da área em questão. Por exemplo, no dimensionamento do edifício um aluno de engenharia civil e/ou arquitetura, na integração do sistema térmico e bomba de calor um de mecânica e no sistema fotovoltaico um de eletrotécnica. Com isto, conseguir-se-ia otimizar todas as fases do projeto e conseguir resultados ainda melhores do que os obtidos nesta dissertação.

Por outro lado, seria interessante perceber qual seria o impacto resultante da implementação de outros sistemas de produção de energia, como por exemplo a biomassa e a energia eólica, sendo que a primeira parece ser uma boa solução para dar apoio ao aquecimento não só ambiente como também AQS e a segunda poderá ser uma hipótese a ter em conta para produção elétrica.

6 Bibliografia

- [1] Baden, S., et al., “Hurdling Financial Barriers to Lower Energy Buildings: Experiences from USA and Europe on Financial Incentives and Monetizing Building Energy Savings in Private Investment Decisions”, August 2006.
Available: <http://www.fsec.ucf.edu/en/publications/pdf/FSEC-PF-396-06.pdf> (1/03/2015)
- [2] Decreto-Lei nº118/2013. Diário da República 1.ª série – N.º 159 – 20 de agosto de 2013.
Available:
http://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier_artigo/20111013_hgoncalves_8623117374ea695102a511.pdf (2/04/2015)
- [3] Gonçalves, H. – “Em direção aos Edifícios de Balanço Energético Zero”, Jornadas de Climatização, Ordem dos Engenheiros – 13 de Outubro de 2013.
- [4] Decreto-Lei nº80/2006. Diário da República 1.ªsérie – A – N.º67 – 4 de Abril de 2006
- [5] Decreto-Lei nº79/2006. Diário da República 1.ªsérie – A – N.º67 – 4 de Abril de 2006
- [6] Decreto-Lei nº78/2006. Diário da República 1.ªsérie – A – N.º67 – 4 de Abril de 2006
- [7] Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002
- [8] “Regulamento de desempenho energético dos Edifícios de Habitação (REH) – Síntese de regulamentação aplicável”. Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciência da Construção. Available: <http://www.itecons.uc.pt/p3e/> (15/02/2015)
- [9] Ganhão, A. – Construção Sustentável – Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação. Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa, 2011
- [10] “Climate and buildings, Implications of climate on building design”. Available: <http://mnre.gov.in/solar-energy/ch2.pdf> (10/03/2015)
- [11] Martins, A. – Certificação Energética de Edifícios. Tese de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2010
- [12] “O’Hara, S”. Available: <http://gimcw.org/climate/data-precip-temp.cfm> (10/03/2015)
- [13] Politano, L. – Extreme temperature events in the Mediterranean. Master’s Thesis, Faculty of Science. University of Bern, 2008
- [14] Jorge, A. – Convergência para NZEB de um edifício classificado. Tese de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2013

- [15] Despacho nº15793-F/2013. Diário da República 2.ªsérie – N.º234 – 3 de Dezembro de 2013
- [16] “Normais climatológicas – 1971-2000 – Lisboa, Geofísico”.
Available: <http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1971-2000/012/> (12/03/2015)
- [17] “Duração total da insolação (Horas) – Ano de 2012”. Available:
<https://www.ipma.pt/pt/oclima/monitorizacao/index.jsp?selTipo=m&selVar=su&selAno=-1>
(12/03/2015)
- [18] [Online]. Available: <http://focusolar.com.br/potencial-solar-brasileiro/> (8/06/2015)
- [19] Isolani, P., et al., “Eficiência energética nos edifícios residenciais”, Manual do consumidor. Lisboa, DECO, 2008. Available:
http://www2.adene.pt/pt-pt/Actividades/Documents/EE_EdRes_enerbuilding.pdf (1/02/2015)
- [20] Gonçalves, H.; Graça, J. M.- “Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal”. Lisboa, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, 2004. Available:
<http://www.lneg.pt/download/4117/Conceitos%20Bioclim%C3%A1ticos.pdf> (1/02/2015)
- [21] “A detailed guide to insulating your home”. Sustainable Energy Ireland. Available:
http://www.seai.ie/Publications/Your_Home_Publications_/Insulation/A_Detailed_Guide_to_Insulating_Your_Home.pdf (12/03/2015)
- [22] Base de dados do software DesignBuilder, Versão 4.2.0.054.
- [23] Santos, C.; Matias, L.- “Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios” - ITE 50, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006. Available:
http://home.fa.utl.pt/~lcaldas/LNEC_ITE_50.pdf (23/11/2015)
- [24] “Projeto de Norma Portuguesa, Ventilação de edifícios com ou sem aparelhos a gás – Parte 1: Edifícios de habitação; Ventilação natural”, Instituto Português de Qualidade, 2015
- [25] “Building technologies program: Air Leakage Guide”, Building Energy Codes, U.S department of energy, September 2011. Available:
https://www.energycodes.gov/sites/default/files/documents/BECB_Building%20Energy%20Code%20Resource%20Guide%20Air%20Leakage%20Guide_Sept2011_v00_lores.pdf (02/04/2015)
- [26] “Guia da Eficiência Energética”. Lisboa, ADENE – Agência para a Energia, 2012
- [27] [Online]. Available: <http://greenworld.pt/servicos/iluminacao-led/> (02/03/2015)
- [28] “Energy Efficient Lightning”, Eartheasy. Available:
http://eartheasy.com/live_energysave_lighting.htm (02/03/2015)
- [29] [Online]. Available: <http://solargis.info/imaps/#c=51.930718,16.787109&z=4> (15/03/2015)

- [30] [Online]. Available: <http://www.paineissolaresfotovoltaicos.com/paineis-fotovoltaicos/a-alemanha-utiliza-paineis-solares/> (15/03/2015)
- [31] “Guia prático do certificado energético da habitação”. ADENE. Available: <http://www2.adene.pt/pt-pt/Publicacoes/Documents/GuiaCE.pdf> (01/02/2015)
- [32] Carvalho, J.- Acetatos das aulas de Energia e Ambiente. Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica – FCT/UNL, 2015
- [33] “Coletor Plano”. Available: <http://www.newhome.com.br/HTMLs/Ekohome/Solar/T%C3%A9rmico/ColetorPlano.htm> (13/06/2015)
- [34] “Coletores Solares”. Available: <http://www.lusosol.com/colectores.htm> (13/06/2015)
- [35] Catálogo de aquecimento Sinuta4sun 2014. Available: http://www.sinuta4sun.pt/ficheiros/anexos_seccoes/58/4SUN-CATALOGO_SolarTermico.pdf (01/07/2015)
- [36] [Online]. Available: <http://dicasesquemas-ng.blogspot.pt/2012/12/bomba-circuladora-observada-lupa.html> (02/07/2015)
- [37] [Online]. Available: <http://trilhosenergeticos.pt/energia-solar-termica/sistema-solar-termico-termossifao/> (23/04/2015)
- [38] [Online]. Available: <http://www.temanu.pt/energias-alternativas/vaso-de-expansao/> (13/08/2015)
- [39] Leitão, J. – Projeto de Sistema Solar Térmico. Trabalho Final de Curso, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006
- [40] Cusseiala, M. – Modelação de sistemas de armazenamento de energia térmica para aumentas a penetração de energias renováveis na produção de eletricidade. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, 2013
- [41] [Online]. Available: <http://www.tisun.es/productos/acumulador-de-estratificacion-solar/acumulador-de-estratificacion-pro-clean/> (15/04/2015)
- [42] “Piso radiante”. LUX MAGNA. Available: http://www.luxmagna.pt/pdfs/LM_pisoradiante.pdf (15/04/2015)

[43] “Aplicações de aquecimento radiante e climatização” – Manual técnico. UPONOR. Available: <http://www.padinho.pt/catalogos/uponor.pdf> (15/04/2015)

[44] [Online].

Available: www.energiasrenovaveis.com/images/upload/flash/anima_como_funciona/pv6.swf (13/02/2015)

[45] “Preços da eletricidade 2001-2013”. Poupar melhor.

Available: <http://www.pouparmelhor.com/noticias/precos-da-electricidade-2001-2013/> (15/05/2015)

[46] Decreto-Lei nº153/2014. Diário da República 1.ªsérie – A – N.º202 – 20 de Outubro d 2014

[47] [Online]. Available: <http://www.ffiolar.com/index.php?lang=PT&page=autoconsumo> (27/04/2015)

[48] “Enquadramento do novo regime de Produção Distribuída”. Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território e Energia – Governo de Portugal – Setembro de 2014. Available: <http://www.futursolutions.pt/docs/EnquadProdDistri.pdf> (27/04/2015)

[49] [Online]. Available: <http://www.ffiolar.com/index.php?lang=PT&page=pequena-producao> (27/04/2015)

[50] Portaria n.º 15/2015. Diário da República 1.ªsérie – N.º16 – 23 de janeiro de 2015

[51] “Guia para instaladores de coletores solares”. Direção Geral da Geologia e Energia – Ministério da Economia, 2004

[52] “Tecnologia de Bomba de Calor”. Daikin. [Online].

Available: <http://www.daiuin.pt/about-daiuin/leading-technologies/heat-pump/>

[53] Revista Hidráulica: As bombas de calor; CALLEFI, 2009

[54] ASHRAE, 2014

[55] Cardoso, F.; Ascenso, R.- “Passivhaus – As novas casas passivas”. Available: <http://www.edificioseenergia.pt/media/44676/tcapa.pdf> (4/07/2015).

[56] “Passive house standard and NZEB, what do they mean? Definitions, basic rules and Polish case study”, Wielkopolska Voiodship Office, Poznan, 22 de Maio de 2012. Available: [http://www.regions202020.eu/cms/assets/Uploads/events/18.ENNEREG_22.05.2012_Workshops_Bartosz%20Krolczyk%20\(WAZE\).pdf](http://www.regions202020.eu/cms/assets/Uploads/events/18.ENNEREG_22.05.2012_Workshops_Bartosz%20Krolczyk%20(WAZE).pdf)

[57] Ford, B., et al. "The Passivhaus Standard in European Warm Climates: Design Guideline for Comfortable Low Energy Homes". School of the Built Environment, University of Nottingham. 2007

[58] "Designing Energy Efficient New Homes for a Warm Climate". Available: <http://www.extension.org/pages/26272/designing-energy-efficient-new-homes-for-a-warm-climate#.VbDu1PIVhBd>

[59] Elsland, R.; Peksen, I.; Wietschel, M. - "Are Internal Heat Gains Underestimated in Thermal Performance Evaluation of Buildings". Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI, Breslauerstr. Karlsruhe, Germany. 2014.
Available: http://ac.els-cdn.com/S1876610214033955/1-s2.0-S1876610214033955-main.pdf?_tid=ead3fa6e-20c6-11e5-9a23-00000aacb35f&acdnat=1435847622_029bfd81fc78fbab9dda01f69735e3e1

[60] Jaggs, M.; Scivyer, C. – "A practical guide to building airtight dwellings". National House Building Council. 2009

[61] Acetatos "Module 14 Structural Air Tightness". Cork Institute of Technology. Available: <http://tea.ie/wp-content/uploads/2011/09/Module-14-StructuralAirTightness.pdf>

[62] "Análise de desempenho de sistemas solares térmicos e Fotovoltaicos" – Manual Solterm versão 5.1. 2012

[63] Catálogo de coletores solares Sonnenkraft. Available: http://www.sotecnisol.pt/resources/777f40511b178afb7f9e2c1a7a9e55af/tabelas_de_preco/solar_termico_colectores_2014.pdf (01/07/2015)

[64] Catálogos de depósitos acumuladores de inércia 2014. Available: http://www.sotecnisol.pt/resources/777f40511b178afb7f9e2c1a7a9e55af/tabelas_de_preco/depósitos_acumuladores_e_de_inercia1.pdf (01/07/2015)

[65] [Online].
Available: <http://www.ecosist.net/luxor-eco-line-250-wp-monocristalino.html>. (10/07/2015)

[66] Catálogo Effekta. Available: http://www.solarshop.pt/files/Effekta_AX.pdf (10/07/2015)

[67] [Online].
Available: http://www.damiasolar.com/produtos/bateria_solar/bateria-solar-u_power_ciclo-profundo-agm-250ah_da0495_36 (10/07/2015)

[68] OMIE. Available: <http://www.omie.es/inicio> (18/8/2015)